

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Sledování typu a vývoje opotřebení VBD při upichování

Tracking of the Type and Development of the Wear Insert During  
Grooving

Student: Jakub Veselovský  
Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2016

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Veselovský**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: Sledování typu a vývoje opotřebení VBD při upichování  
Tracking of the Type and Development of the Wear Insert During  
Grooving  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Opotřebení řezného nástroje.
3. Využití VBD při upichování.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu – disertační práce*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava Fakulta strojní, 2005. 101 s.
- [3] WHITNEY, E. Dow. *Ceramics Cutting Tools – Materials, Development and Performance*. Gainesville, Florida : Noyes Publication New Jersey, 1994, 350 p. ISBN 0-8155-1355-0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**


Konzultant diplomové práce: RNDr. Vladimír Stoyka, Ph.D.

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřisečné prohlášení studenta**

**Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh  
vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl  
jsem všechny použité podklady a literaturu.**

**V Ostravě** 14. 5. 2016

Volavský  
**podpis studenta**

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 74.5.2016

Veselovský  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jakub Veselovský

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Komenského 245, 788 15 Velké Losiny

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VESELOVSKÝ, J. *Sledování typu a vývoje opotřebení VBD při upichování: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie 2016, 79 s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Diplomová práce zkoumá vývoj sil vyměnitelných břitových destiček při operaci upichování a to při upichování v ose, nad osou, i pod osou obrobku. Dle dosažených výsledků se dále rozhodlo o sledování vývoje opotřebení VBD pouze v ose obrobku. Tento experiment byl dále rozdělen na dvě části, v první byly zápichy provedeny do plného materiálu, tzn., upichovalo se až do středu obrobku. V druhé části, z důvodu vyhnutí se nárůstkové oblasti, byla v materiálu předvrtaná díra o průměru 20 mm. Pro oba experimenty byly použity destičky jak firmy Dormer Pramet, tak firmy Iscar. Výsledky prvního experimentu byly překvapivé, v druhém experimentu byl objeven důležitý faktor, který zásadně ovlivňuje trvanlivost břitu.

**Klíčová slova:** Vyměnitelné břitové destičky, upichování, nárůstková oblast, slinuté karbidy, fazetka, řezné síly, opotřebení

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

VESELOVSKÝ, J. *Tracking of the Type and Development of the Wear Insert During Grooving: Diploma Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of machining, assembly and engineering metrology, 2016, 79 s. Thesis head: Vrba, V.

This thesis examines the development of the forces of inserts during grooving in the axis, above the axis, and below the axis of the workpiece. According to the results, it was also decided to monitor the wear of inserts only in the axis of the workpiece. This experiment was divided into two parts, the first experiments have been made into solid material, that means grooving until the middle of the workpiece. In the second experiments, material had pre-drilled hole of 20 mm diameter, because of the material growth area avoidance. Inserts from Dormer Pramet and Iscar companies were used for both experiments. Results of first the experiment were surprising, and important factor that significantly affects the tool life was discovered in the second experiment.

**Key words:** Indexable inserts, grooving, material growth area, cemented carbide, bevel, cutting forces, wear

# Obsah:

<b>1.</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>3.</b>	<b>Obecná charakteristika daného problému .....</b>	<b>11</b>
3.1.	<i>Soustružení .....</i>	<i>11</i>
3.2.	<i>Volba soustružnického nástroje.....</i>	<i>13</i>
3.3.	<i>Řezné síly.....</i>	<i>15</i>
3.4.	<i>Obrobitelnost.....</i>	<i>18</i>
3.5.	<i>Kritéria pro posuzování obrobitelnosti materiálu .....</i>	<i>19</i>
3.6.	<i>Nárůstek na břitu.....</i>	<i>21</i>
<b>4.</b>	<b>Opotřebení řezného nástroje .....</b>	<b>28</b>
4.1.	<i>Řezné podmínky a typy (druhy) opotřebení břitu.....</i>	<i>28</i>
4.2.	<i>Mechanické porušení břitu .....</i>	<i>33</i>
4.3.	<i>Převládající typ opotřebení v závislosti na řezných podmínkách .....</i>	<i>33</i>
4.4.	<i>Fyzikální podstata procesu opotřebení.....</i>	<i>37</i>
4.5.	<i>Abrazivní a adhesní opotřebení funkčních ploch břitových destiček SK .....</i>	<i>39</i>
<b>5.</b>	<b>Využití VBD při upichování .....</b>	<b>42</b>
5.1.	<i>Geometrie VBD .....</i>	<i>42</i>
5.2.	<i>Základní plochy VBD.....</i>	<i>42</i>
5.3.	<i>Nástrojové úhly.....</i>	<i>43</i>
5.4.	<i>Lamače třísek.....</i>	<i>44</i>
5.5.	<i>Tvary VBD.....</i>	<i>44</i>
<b>6.</b>	<b>Diskuze experimentů .....</b>	<b>47</b>
6.1.	<i>Použité destičky .....</i>	<i>48</i>
6.2.	<i>Obráběný materiál.....</i>	<i>49</i>
6.3.	<i>Zkušební CNC soustruh MAS S80i Standard.....</i>	<i>50</i>
6.4.	<i>Experiment měření sil.....</i>	<i>51</i>
6.4..1	<i>Měření sil v ose obrobku .....</i>	<i>55</i>
6.4..2	<i>Měření sil pod osou obrobku.....</i>	<i>58</i>
6.4..3	<i>Měření sil nad osou obrobku.....</i>	<i>60</i>

6.5.	<i>Experiment sledování vývoje opotřebení .....</i>	62
6.5..1	<i>Sledování vývoje opotřebení při upichování do nuly (Protokol 1486) .....</i>	63
6.5..2	<i>Sledování vývoje opotřebení při upichování s předvrtanou dírou (Protokol 1488) .....</i>	69
7.	<b>Technicko-ekonomické zhodnocení .....</b>	73
8.	<b>Závěr.....</b>	74
	<b>Použitá literatura .....</b>	78
	<b>Seznam příloh.....</b>	79

## 1. Seznam použitých zkratek a symbolů

Značka	Význam	Jednotky
$A_D$	Jmenovitý průřez třísky	[mm]
$a_p$	Šířka záběru ostří	[mm]
$b_D$	Jmenovitá šířka třísky	[mm]
$C_{Fc}, C_{Ff}, C_{Fp}$	Materiálové konstanty	---
$c$	Exponent charakterizující stupeň vlivu $h_D$ na $k_c$	---
$D$	Průměr obráběné plochy	[mm]
$d$	Průměr obrobené plochy	[mm]
$F$	Celková síla	[N]
$F_c$	Řezná síla (tangenciální)	[N]
$F_f$	Posuvová síla	[N]
$F_p$	Pasivní síla	[N]
$f$	posuv	[mm/min]
$f_{ot}$	Posuv na otáčku	[mm/ot]
$HB$	Tvrdost dle Brinella	---
$h_D$	Jmenovitá tloušťka třísky	[mm]
$K_f$	Vzdálenost okraje výmolu	[mm]
$KB$	Šířka výmolu	[mm]
$KM$	Vzdálenost středu výmolu	[mm]
$KT$	Hloubka výmolu	[mm]
$k_c$	Měrný řezný odpor	[MPa]
$k_p$	Součinitel přechování	---
$L$	Délka obráběné plochy	[mm]
$l$	Délka obrobené plochy	[mm]
$n$	Otáčky	[ot/min]
$P_m$	Efektivní výkon řezání	[kW]
$Re$	Mez kluzu	[MPa]
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]
$r_\epsilon$	Zaoblení špičky	[mm]
$T$	Trvanlivost nástroje	[min]
$VB_B$	Šířka plošky opotřebení hřbetu	[mm]
$v_c$	Řezná rychlost	[m/min]
$v_f$	Posuvová rychlost	[mm/min]
$v_e$	Rychlost řezného pohybu	[m/min]
$X_{Fc}, X_{Ff}, X_{Fp}$	Exponent vlivu $a_p$	---
$Y_{Fc}, Y_{Ff}, Y_{Fp}$	Exponent vlivu $f$	---
$\alpha$	Úhel hřbetu	°
$\gamma$	Úhel čela	°
$\epsilon_r$	Úhel špičky	°
$\eta$	Mechanická účinnost obráběcího stroje	---
$\kappa_r$	Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří	°
<b>CNC</b>	Computer Numeric Control	---
<b>VBD</b>	Vyměnitelná břitová destička	---
<b>VDSK</b>	Vyměnitelná destička slinutého karbidu	---



<b>P</b>	<p>uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12</p> <p>legované oceli tříd 13, 14, 15, 16</p> <p>nástrojové oceli uhlíkové (191..., 192..., 193...)</p> <p>nástrojové legované oceli (193... až 198...)</p> <p>uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...)</p> <p>nízko a středně legované ocelolitiny skupiny 27 (4227...)</p> <p>feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (třídy 17..., lité 4229...)</p>	<p>uhlíkové (nelegované) ocele třídy 10, 11, 12</p> <p>legované ocele tříd 13, 14, 15, 16</p> <p>nástrojové ocele uhlíkové (191..., 192..., 193...)</p> <p>nástrojové legované ocele (193... až 198...)</p> <p>uhlíková oceloliatina skupiny 26 (4226...)</p> <p>nízko a středně legované oceloliatiny skupiny 27 (4227...)</p> <p>feritické a martenzitické korozivzdorné ocele (třídy 17..., lité 4229...)</p>
<b>M</b>	<p>austenitické a feriticko austenitické oceli</p> <p>korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné</p> <p>oceli nemagnetické a oteruvzdorné</p>	<p>austenitické a feriticko austenitické ocele</p> <p>korozivzdorné, žiaruvzdorné a žiarupevné</p> <p>ocеле nemagnetické a oteruvzdorné</p>
<b>K</b>	<p>šedá litina nelegovaná i legovaná (4224...)</p> <p>tvárná litina (4223...)</p> <p>temperovaná litina (4225...)</p>	<p>sivá liatina nelegovaná aj legovaná (4224...)</p> <p>tvárná liatina (4223...)</p> <p>temperovaná liatina (4225...)</p>
<b>N</b>	<p>neželezné kovy, slitiny Al a Cu</p>	<p>neželezné kovy, zliatiny Al a Cu</p>
<b>S</b>	<p>speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti</p>	<p>špeciálne žiarupevné zliatiny na báze Ni, Co, Fe a Ti</p>
<b>H</b>	<p>zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa</p> <p>kalené oceli HRC 48 ÷ 60</p> <p>tvrzeň křikové litiny HSh 55 ÷ 85</p>	<p>zušľachtené ocele s pevnosťou nad 1500 MPa</p> <p>kalené ocele HRC 48 - 60</p> <p>tvrdené křikové liatiny HSh 55 - 85</p>

## 2. Úvod

Tato diplomová práce je zadána firmou Dormer Pramet. Firma vznikla v roce 2014 spojením společnosti Pramet Tools (specializuje se na výrobu nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů) a firmy Dormer Tools (výrobce monolitních nástrojů). Společně mají více jak 150 let historie, spojení firem přispělo v doplnění sortimentu a trhů. Disponují specializovanými školícími centry v Česku, Švédsku, Rusku, Velké Británii a USA. Dormer Pramet má přes 30 poboček, které působí na stovce trhů po celém světě. [10]

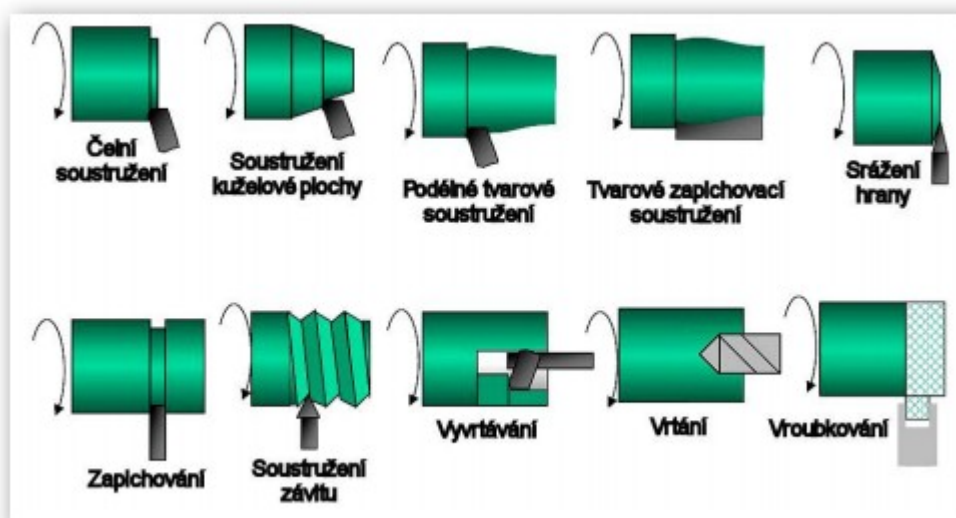
Pro operaci upichování je obecně známo, že pozice řezné hrany by měla být v ose obrobku. V praxi se může stát, že vlivem výrobní tolerance stroje, VDI-ček, držáků, destiček a seřízení bude pozice řezné hrany nad nebo pod osou obrobku. Z toho důvodu se budu v této diplomové práci zabývat tím, jak se mění řezné síly v závislosti na umístění řezné hrany pod osou, v ose a nad osou obrobku. Dále se budu zabývat vývojem opotřebení destiček firmy Pramet a Iscar během operace upichování do materiálu bez díry a materiálu s předvrtanou dírou, aby se minimalizoval vliv nárůstkové oblasti.

### 3. Obecná charakteristika daného problému

Upichování je jedna z nejnáročnějších obráběcích operací. Je to dáno především tím, že je zhoršený odvod tepla a špon, dále vibracemi z důvodu velkého vyložení nože a nárůstkovou oblastí. Čím blíže jsme ke středu obrobku, tím je menší řezná rychlost a kvůli tomu roste vliv nárůstkové oblasti. Proto rostou nároky na kvalitu řezné hrany, povlaku a provedení geometrie destičky. Další ovlivňující faktor je, zdali se podaří upnout destičku tak, aby byla řezná hrana přesně v ose obrobku. V této práci budu sledovat vývoj sil při upichování v ose, nad osou i pod osou obrobku a dle dosažených výsledků posoudím, jak moc může nepřesnost při ustanovení řezné hrany ovlivnit trvanlivost břitové destičky.

#### 3.1. Soustružení

Soustružení je jedna z obráběcích metod, která je používána zejména pro zhotovení součástí rotačních tvarů, pomocí jednobřitých nástrojů různého provedení. Soustružení představuje nejjednodušší způsob obrábění a také nejužívanější metodu obrábění ve strojírenské praxi z mnoha různých úhlů pohledu. Rovinné čelní plochy a zápichy, vnější a vnitřní válcové, kuželové i tvarové plochy lze také obrábět soustružením (obr. 1). Další možnosti využití soustruhu je vrtání, vyvrtávání, vystružování, řezání závitů, vroubkování, válečkování, hlazení, leštění, vyrábění hřbetní plochy, tvarových fréz podsoustružováním, atd.[5, s.105]



Obr. 1 Základní práce na soustruhu [5, s.105]

Obrobek koná hlavní rotační pohyb, pohyb přímočarý, neboli posuvový je vykonáván nástrojem. Při soustružení čelní plochy se řezný pohyb realizuje po Archimédově spirále, při soustružení válcové plochy po šroubovici. [5, s.105]

Na základě vztahů (pro standardní podmínky soustružení, že  $v_f \ll v_c$  a  $f \ll \pi D$ , takže  $v_e \cong v_c$ ) se vyjadřují hodnoty posuvové rychlosti  $v_f$ , rychlosti řezného pohybu  $v_c$  a řezné rychlosti  $v_e$ :

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.1)$$

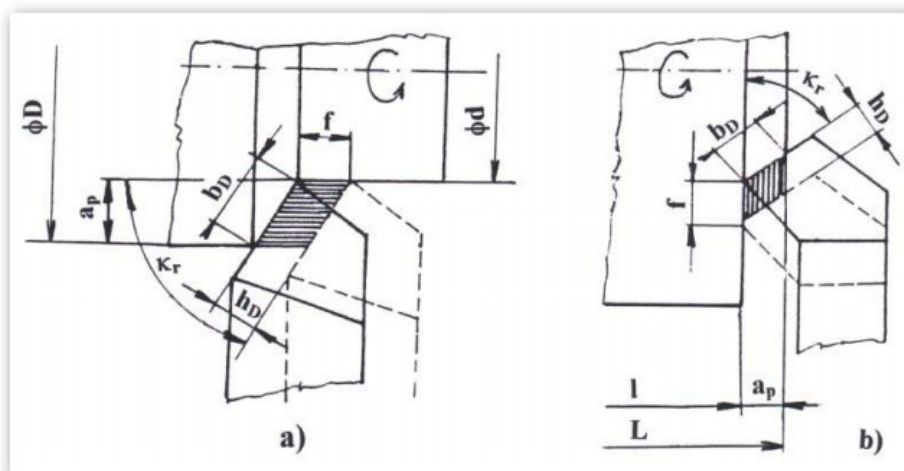
$$v_f = f \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.2)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 10^{-3} \cdot n \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + f^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.3)$$

kde:  $D$  [mm] - průměr obráběné plochy,

$n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] - otáčky obrobku,

$f$  [mm] - posuv na otáčku obrobku.



Obr. 2 Identifikace průřezu třísky při soustružení [5, s.106]

**a)** válcová plocha, **b)** čelní plocha,  $a_p$  - šířka záběru ostří,  $b_D$  - jmenovitá šířka třísky,  $d$  - průměr obrobené plochy,  $L$  - délka obráběné plochy,  $l$  - délka obrobené plochy,  $h_D$  - jmenovitá tloušťka třísky,  $\kappa_r$  - nástrojový úhel nastavení hlavního ostří,  $D$  - průměr obráběné plochy

Na obrázku č. 2 je uvedena identifikace rozměrů průřezu třísky pro základní případy soustružení. Šířka záběru ostří  $a_p$  se vyjádří podle vztahu:

$$\text{pro podélné soustružení} \quad a_p = 0,5(D - d) \quad [\text{mm}] \quad (3.4)$$

$$\text{pro čelní soustružení} \quad a_p = L - l \quad [\text{mm}] \quad (3.5)$$

Jmenovitá tloušťka třísky  $h_D$  a jmenovitá šířka třísky  $b_D$  se vypočítají podle vztahů:

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad [\text{mm}] \quad (3.6)$$

$$h_D = f \cdot \sin \kappa_r \quad [\text{mm}] \quad (3.7)$$

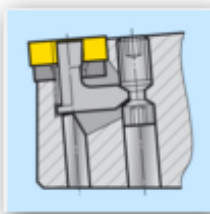
Pro stanovení jmenovitého průřezu třísky  $A_D$  použijeme vztah:

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot f \quad [\text{mm}^2] \quad (3.8)$$

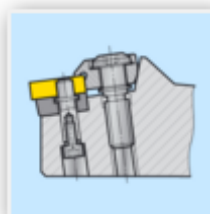
### 3.2. Volba soustružnického nástroje

#### Volba držáku s ohledem na způsob upnutí

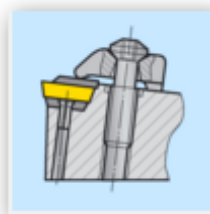
Podle systému upínání VBD rozdělujeme nožové držáky do sedmi skupin, které jsou v následujícím textu schematicky znázorněny. [3, s.26]



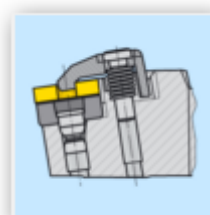
ISO P - Tento způsob slouží k upínání negativních destiček s válcovým otvorem a to jak s utvařečem, tak bez něj. Destička je dotlačena do lůžka v držáku dotažením šroubu za pomoci úhlové páky. Spolehlivé a přesné upnutí VBD je zajištěno držáky s tímto systémem upnutí VBD. Nejčastěji a nejvýhodněji se tento systém použije pro vnější soustružnické operace (jak hrubovací, tak i dokončovací), dále i pro držáky určené pro vnitřní soustružení otvorů větších průměrů.



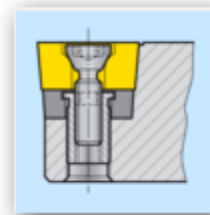
ISO M - Tento systém umožňuje upínání VBD stejného typu jako systém ISO P. Destička nasazená na pevném čepu je současně fixována shora upínkou. Tento typ je doporučován zejména pro držáky, u nichž předpokládáme zvýšené dynamické namáhání. Tyto držáky jsou používány výhradně pro vnější soustružení.



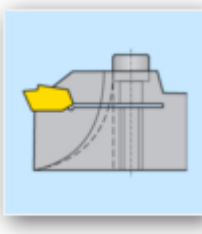
ISO C - Tento mechanismus využíváme k upínání pozitivních i negativních destiček bez otvoru (s utvařeči nebo bez nich). Destička je stabilizována v lůžku nožového držáku upínkou, která je dotažena šroubem. U některých typů destiček se dále vkládá příložený utvařeč. Tento systém je používán jak pro vnější, tak i vnitřní soustružení, i když v současné době ztrácí svůj význam. Především pro vnitřní soustružení je tento systém nahrazován systémem S.



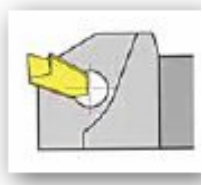
ISO D - Tímto mechanismem upínáme VBD stejného typu jako u systému ISO P. Destička je do dna i stěny lůžka fixována speciální upínkou. Tento typ využijeme především tam, kde můžeme předpokládat zvýšené dynamické namáhání a používají se téměř výhradně pro vnější soustružení.



ISO S - Tímto systémem upínáme především nože s menším průřezem tělesa, určených pro vnější i vnitřní soustružení (vyvrtávání). Destička je upnuta speciálním šroubem, který prochází kuželovým otvorem destičky. Dotažením tohoto šroubu dosáhneme fixace destičky v lůžku nožového držáku. Výhodou tohoto řešení je především v tom, že zde pro odchod třísky není žádná překážka.



ISO G - Tento systém je užíván především pro kopírovací soustružení, soustružení zápichů apod. Destička je dotlačována do lůžka upínkou shora. Vyvracení destičky posuvovou složkou řezné síly zabraňuje profilovaná dosedací plocha jak v držáku, tak v upínce i destičce.



ISO X - Toto označení je odlišné u jednotlivých výrobců a dodavatelů nářadí, jedná se o nože s tzv. speciálním systémem upnutí. V našem případě je tento typ upínání používán pro nástroje určené na zapichování a upichování. Upnutí destičky je realizováno řeznou silou do samosvorného lůžka. [3, s. 26]



*Obr. 3 Použitý typ držáku ISO X. Planžeta upnuta v kostce*

### 3.3. Řezné síly

Břit nástroje, který odděluje odřezávané vrstvy obrobku a transformuje ji na třísku, vykonává určitou mechanickou práci úměrnou především velikostí řezné síly (řezného odporu) po dráze ve směru řezné rychlosti, kterou v daném čase proběhne nůž vzhledem k obrobku. [1, s.37]

Pro podélné soustružení válcové plochy se celková síla  $F_a$  její složky ( $F_c$ - řezná síla,  $F_f$ - posuvová síla a  $F_p$ - pasivní síla) určí ze vztahů: [3, s.107]

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{X_{Fc}} \cdot f^{Y_{Fc}} \quad [N] \quad (3.9)$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{X_{Ff}} \cdot f^{Y_{Ff}} \quad [N] \quad (3.10)$$

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{X_{Fp}} \cdot f^{Y_{Fp}} \quad [N] \quad (3.11)$$

kde:  $C_{Fc}, C_{Ff}, C_{Fp}$  - Materiálové konstanty

$X_{Fc}, X_{Ff}, X_{Fp}$  - exponenty vlivu  $a_p$

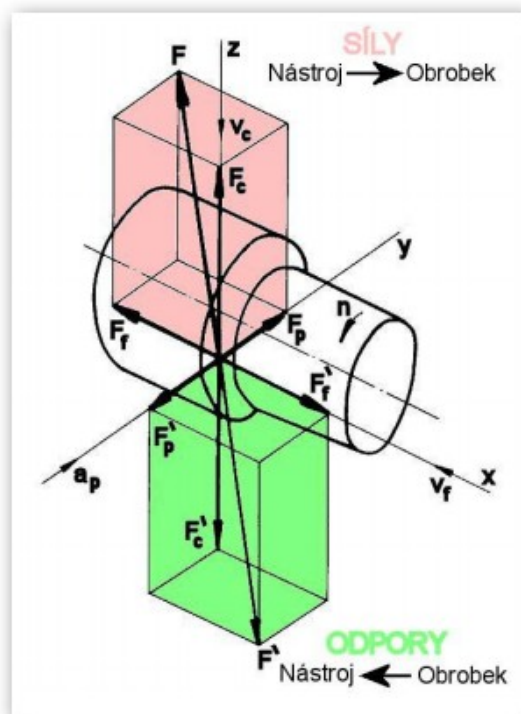
$Y_{Fc}, Y_{Ff}, Y_{Fp}$  - exponenty vlivu  $f$

$a_p$  [mm] - šířka záběru ostří

$f$  [mm] - posuv na otáčku

Celková síla je dána rovnicí:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \quad [N] \quad (3.12) \quad \text{Obr. 4 Řezné síly při soustružení [3, s.107]}$$



Měrný řezný odpor  $k_c$  se používá k výpočtu tangenciální složky řezné síly:

$$k_c = \frac{F_c}{A_D} \quad [MPa] \quad (3.13)$$

kde:  $A_D = (f \cdot a_p)$  [mm<sup>2</sup>] - průřez odřezávané třísky

$F_c$  [N] - tangenciální složka řezné síly

Měrný řezný odpor není materiálovou konstantou, ale závisí na geometrii nástroje, řezných podmínkách a opotřebení nástroje. Tloušťka odřezávané třísky má největší vliv na velikost měrného řezného odporu. Pokud je posuv menší než 0,25 mm/ot se měrný řezný odpor významně zvětšuje oproti středně velkým posuvům. Na diagramu viz obr. 5 můžeme vidět rozptylové pole měrného řezného odporu pro ocel v závislosti na tloušťce třísky a ostatních působících faktorech. [1, s.38]



Dle následujícího vztahu lze provést praktický výpočet měrného řezného odporu obráběného materiálu (litiny, oceli, Cu-slitin, Al-slitin) pro určitou tloušťku třísky, která je závislá na úhlu nastavení hlavního břitu při určitém posuvu:

$$k_c = \frac{k_{c1}}{h_d^c} \quad (3.14)$$

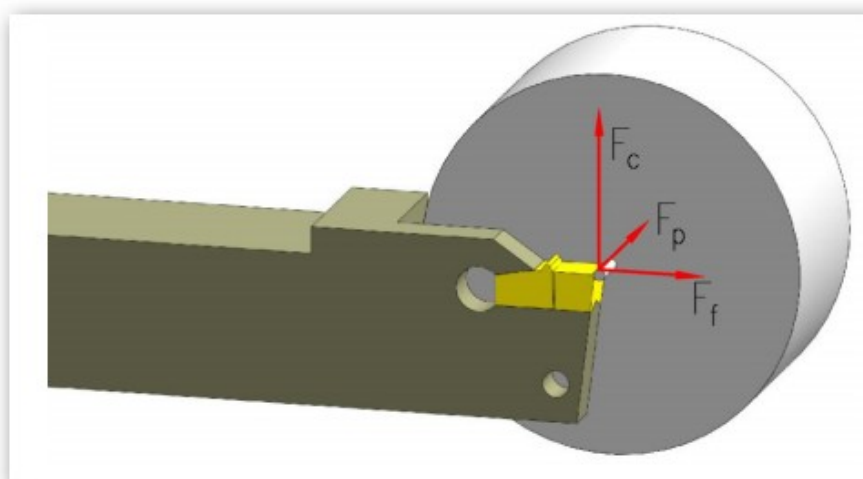
kde:  $k_c$  [MPa] - měrný řezný odpor  
 $h_d$  [mm] - tloušťka třísky  
 $c$  [-] - exponent charakterizující stupeň vlivu tloušťky třísky na měrný řezný odpor

Tangenciální složka  $F_c$  je nejvýznamnější složkou řezné síly (řezného odporu), která určuje velikost výkonu potřebného pro obrábění neboli efektivní výkon řezání:

$$P_m = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4 \cdot \eta} \quad [\text{kW}] \quad (3.15)$$

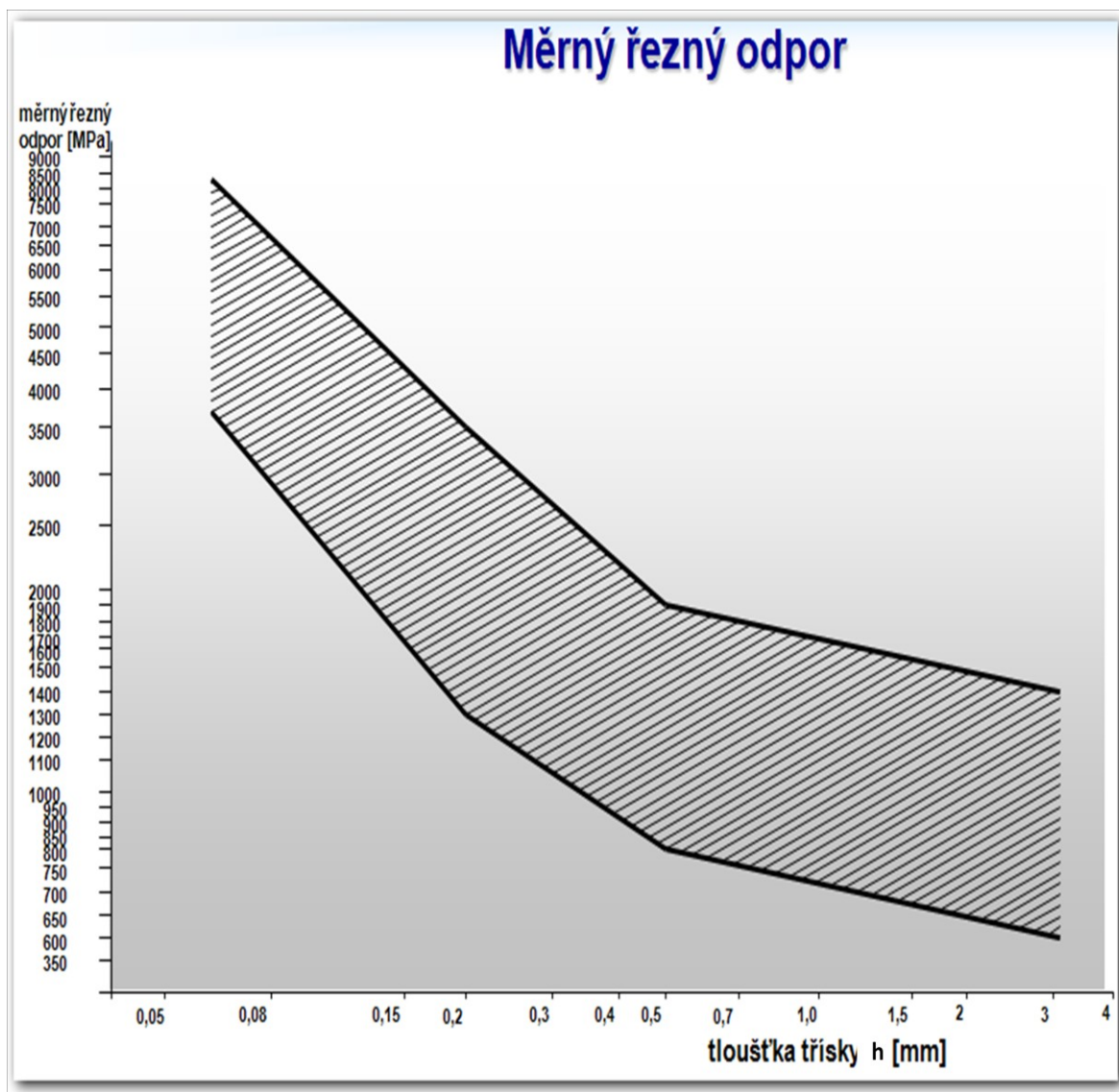
kde:  $F_c$  [N] - řezná síla  
 $v_c$  [m.min<sup>-1</sup>] - řezná rychlost  
 $\eta$  [-] - mechanická účinnost obráběcího stroje

Podle měrného řezného odporu  $k_c$  vypočítáme hodnoty řezných sil, které předpokládají pracovní úhel čela  $\gamma_n$  v rozmezí +5° až +10°. Při změně úhlu čela o 1° se řezná síla změní o cca 2 % (zmenšuje při zvětšování  $\gamma_n$  a naopak zvětšuje se při zmenšování  $\gamma_n$ ). V případě, že se netvoří nárůstek se hodnota  $k_c$  zmenšuje s rostoucí řeznou rychlostí  $v_c$ . [1, s.38]



Obr. 5 Rozložení složek celkové řezné síly při upichování a zapichování [6]





Obr. 6 Diagram měrného řezného odporu v závislosti na tloušťce třísky [1, s.38]

### 3.4. Obrobitelnost

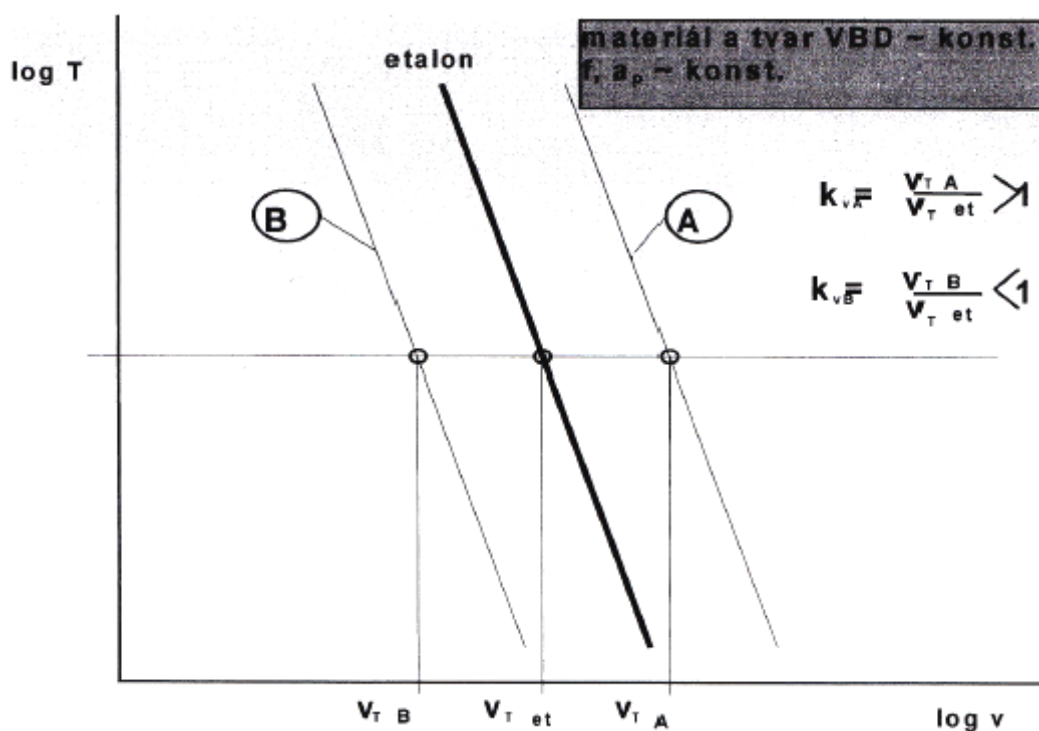
*„Jednou z hlavních komplexních vlastností materiálu je jejich obrobitelnost, která závisí především na chemickém složení a mikrostruktuře ovlivňující především mechanické a fyzikální vlastnosti. Pevnost, tvrdost a houževnatost můžeme charakterizovat poměrným prodloužením a kontrakcí. Tepelná vodivost a měrné teplo ovlivňují obrobitelnost z fyzikální stránky. Z toho důvodu nelze absolutně určit měřitelnou jednotku obrobitelnosti určitého materiálu.*

*Na výsledném účinku předešlých vlastností obráběného materiálu je přímo závislý druh a intenzita namáhání pracujících ploch břitu a v konečném výsledku velikost jeho opotřebení. Na obrobitelnosti je proto přímo závislá úroveň řezných podmínek, při nichž lze daný materiál ekonomicky obrábět, tak abychom dodrželi požadavky na jeho kvalitu (jakost obráběného materiálu, přesnost rozměru obrobku, stav povrchové vrstvy a drsnost povrchu).“ [9, s.10]*

### 3.5. Kritéria pro posuzování obrobitelnosti materiálu

a) „Podle velikosti řezné rychlosti  $v_T$  odpovídající ekonomické trvanlivosti břitu, dosažené při obrábění určitým přesně definovaným nástrojem při určitém posuvu  $f$ , hloubce řezu  $a_p$  (a způsobu chlazení).

Takto zjištěná obrobitelnost - určená hodnota  $v_T$  - je porovnávána s obrobitelností jiných, vhodně zvolených etalonových materiálů. Hodnota  $v_T$  je relativní a určuje kolikrát je obrobitelnost srovnávaného materiálu, u nichž známe všechny parametry lepší nebo horší než obrobitelnost vzorkového etalonu. Hodnocení se provádí podle tzv. součinitele obrobitelnosti  $k_v$ . [9, s.11]



Obr. 7 Schéma hodnocení obrobitelnosti [9, s.11]

kde:

$v_{TA}$  ..... ekonomická řezná rychlost porovnávaného materiálu A s lepší obrobitelností

$v_{TB}$  ..... ekonomická řezná rychlost porovnávaného materiálu B s horší obrobitelností

$v_{TE}$  ..... ekonomická řezná rychlost etalonového materiálu

$k_v$  ..... součinitel obrobitelnosti [9, s.11]

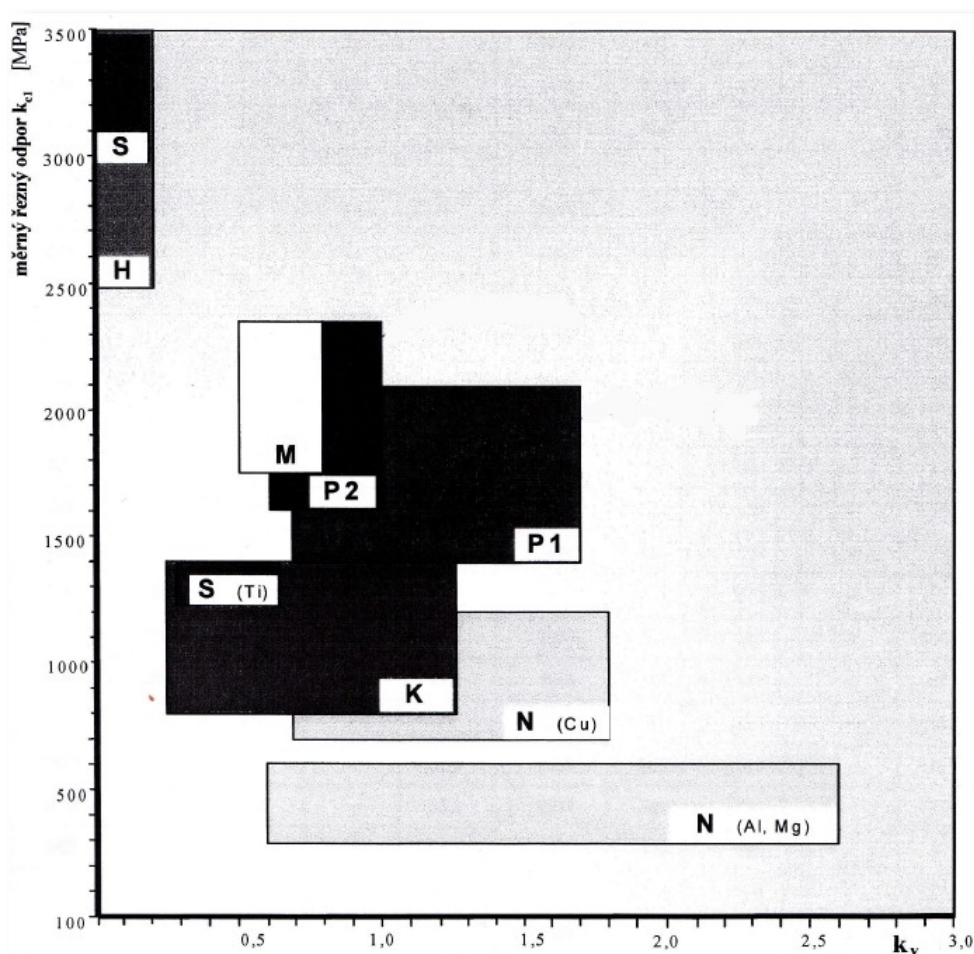
**b) Podle velikosti složky řezné síly  $F_c$  -obecně platí, že čím větší je hlavní složka řezné síly  $F_c$ , tím větší výkon je potřeba pro přetvoření odřezávané vrstvy materiálu ve třísku. Platí zde základní vztah:**

$$P_c = \frac{F_c \cdot V_c}{1000 \cdot 60} \quad (3.16)$$

kde  $F_c$  ..... hlavní složka řezné síly (N)

$V_c$  ..... řezná rychlost ( $m \cdot min^{-1}$ )

Pokud budeme srovnávat hodnoty specifického řezného odporu  $k_{cl}$  materiálů ze speciálních žárupevných slitin a materiálů o vysoké tvrdosti, a u materiálů ze slitiny hliníku (hořčíku) s jejich součiniteli obrobitelnosti  $k_v$ , výsledky budou mít nezanedbatelnou odchylku. K hodnotám součinitele  $k_v$  uvedeným v diagramu je však nutno vzít v úvahu, že prakticky u každé uvedené skupiny materiálů P, M, K, N, S, H (viz obr. 8) je vyhodnocen k jinému etalonu. Proto nemůže platit  $k_v$  stupnice uvedena na vodorovné ose diagramu pro všechny materiály současně. Pouze kvalitativní hodnocení relativní obrobitelnosti umožní toto kritérium.“ [9, s.12]

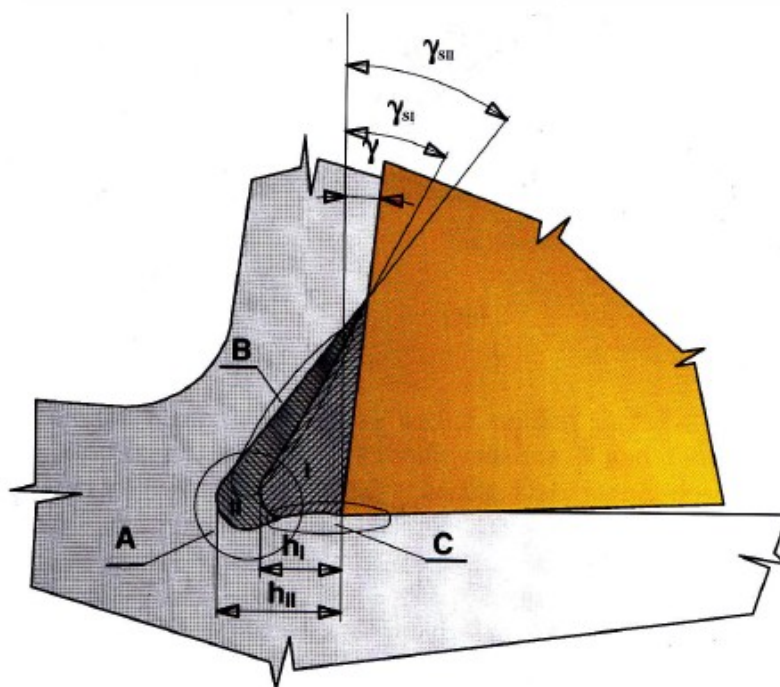


Obr. 8 Diagram součinitele  $k_v$  [9, s.12]

### 3.6. Nárůstek na břitě

„Nárůstek tvoří silně zpevněné a s čelem pevné adheze spojené částice obráběného materiálu. Kvalita obráběného povrchu, opotřebení břitu i rozměrová přesnost obrobku je podstatně ovlivňována nárůstkem.

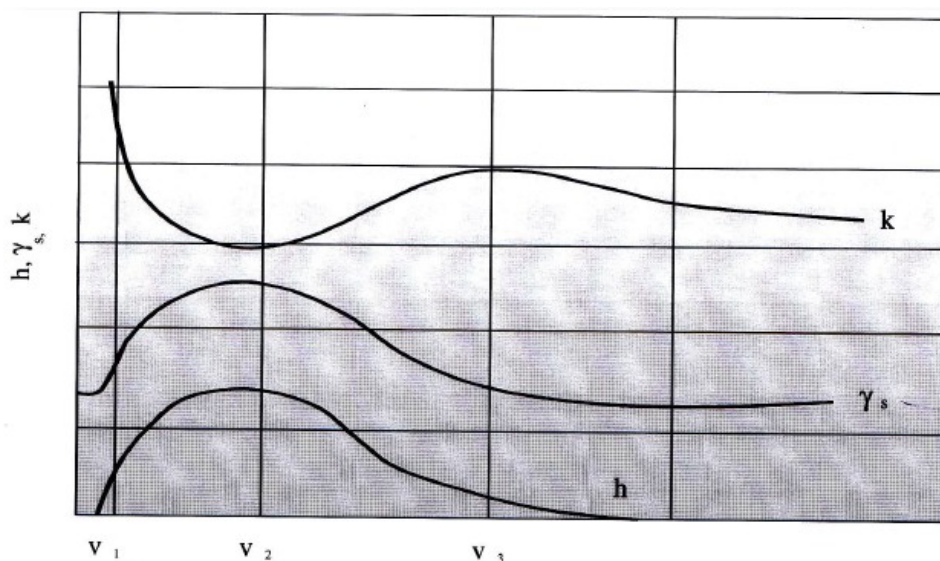
Na obr. 9 je schematicky naznačen tvar nárůstku. Silně plasticky deformované částice obráběného materiálu vytvářejí tvar nárůstku. Účinkem vysokých tlaků se tyto částice na pevně ulpěném čele spojí. V tomto stavu je čelo mnohem tvrdší než sám obráběný materiál. Při soustružení oceli střední pevnosti  $R_m - 550 \text{ MPa}$ , tj. tvrdosti cca **160 HB**, dosahuje tvrdost nárůstku hodnoty například až **440HB**, což je ve škále hodnot zušlechtné oceli.



Obr. 9 Nárůstek [9, s.13]

Na schématu (obr. 9) je zřejmé, že pracovní úhel čela je výrazně ovlivňován nárůstkem. Skutečný úhel čela v rozmezí  $\gamma_{SI} - \gamma_{SII}$  se mění při kolísání výšky nárůstku v rozmezí  $h_I - h_{II}$ . Protože nárůstek způsobuje pozitivnější pracovní geometrii, platí tedy, že nominální úhel čela  $\gamma$  je podstatně menší než tyto skutečné pracovní úhly. [9, s.13]

Grafický je vliv změny úhlu čela naznačen na obr. 10



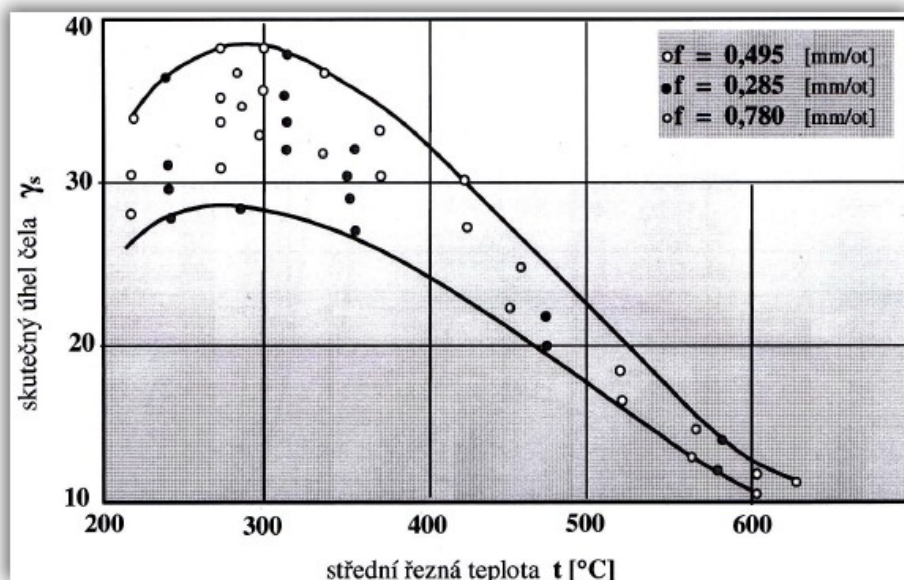
Obr. 10 Vliv úhlu čela [9, s.14]

Nárůstek začíná vznikat při řezné rychlosti  $v_1$ , kde s rostoucí řeznou rychlostí roste a maxima dosahuje při řezné rychlosti  $v_2$ . V tomto intervalu řezných rychlostí roste spolu s nárůstkem skutečný pracovní úhel čela  $\gamma_s$ , dosahující maxima při řezné rychlosti  $v_2$ . Bez ohledu na mechanické vlastnosti a velikosti nominálního úhlu čela  $\gamma$  dosahuje velikost maximálního pracovního úhlu u oceli hodnoty až  $30^\circ - 40^\circ$ . Vlivem řezné rychlosti  $v_1$  se začíná součinitel přechování třísky a velikost řezných sil zmenšovat a minima dosahují při rychlosti  $v_2$ . Nárůstek se při dalším růstu řezné rychlosti zmenšuje a při určité řezné rychlosti  $v_3$  mizí úplně.

V určitém rozmezí řezných teplot dochází ke vzniku nárůstku. Maximální výška je dosažena při střední řezné teplotě  $250^\circ\text{C}$  až  $300^\circ\text{C}$  a při teplotě cca  $600^\circ\text{C}$  až  $650^\circ\text{C}$  mizí. Experimentálně získané hodnoty při obrábění oceli GOST 30Ch(ČSN 14230) SK T14 K8  $\approx$  S20 dokumentují závislost tvorby nárůstku na střední řezné teplotě. Hodnoty skutečného úhlu čela  $\gamma_s$  v závislosti na střední řezné teplotě pro různé posuvy jsou vyneseny v diagramu (viz obr. 11)

Skutečný úhel čela  $\gamma_s$  a tím i nárůstek dosahuje v rozmezí středních teplot  $250^\circ\text{C}$  až  $300^\circ\text{C}$  maxima. Při teplotě  $t \approx 600^\circ\text{C}$  nárůstek mizí a úhel  $\gamma_s$  se blíží nominální hodnotě  $\gamma=10^\circ$  [9, s.14]





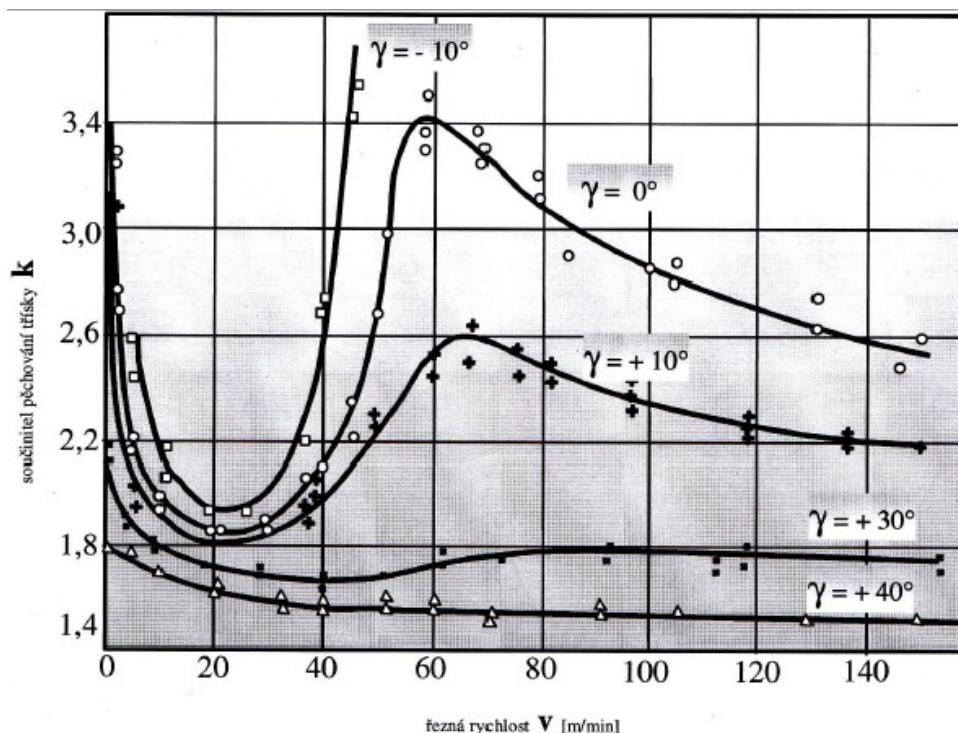
Obr. 11 Hodnoty skutečného úhlu čela [9, s.15]

Nárůstek existuje pouze v určitém rozmezí řezných rychlostí a posuvů jelikož řezná teplota při soustružení určité oceli je závislá především na řezných podmínkách. Při soustružení oceli GOST 20Ch nástrojem P20 experimentální výsledky prokazují, že se s rostoucím posuvem zužuje oblast řezných rychlostí, kdy se tvoří nárůstek. Oblast vzniku nárůstku je tím širší, čím menší je posuv. Např. při posuvu  $f = 0,5 \text{ mm/ot}$  se nárůstek začíná tvořit při řezné rychlosti  $v_1 = 0,9 \text{ m/min}$  a dosahuje maxima  $v_2 = 10 \text{ m/min}$  a zaniká při  $v_3 = 45 \text{ m/min}$ . Při posuvu  $f = 0,027 \text{ mm/ot}$  existuje nárůstek při velmi malých řezných rychlostech  $v_1 \approx 0$ , maxima dosahuje při  $v_2 = 60 \text{ m/min}$  a při rychlosti  $v_3 > 180 \text{ m/min}$  mizí.

Na úhlu čela  $\gamma_n$  též závisí výskyt nárůstku. Negativní úhly čela nárůstek podporují a rozšiřují oblast řezných podmínek, ve kterých existuje tvorba nárůstku, zatímco při zvětšování kladných úhlů čela  $\gamma_n$  se tvorba omezuje. Použitím negativního předčelí (fazetky) můžeme stabilizovat nárůstek i při mnohem vyšších řezných rychlostech. Nárůstek prakticky vůbec nevzniká při  $\gamma_n = 40^\circ$ . Kdežto při záporném úhlu čela vzniká velký nárůstek, který při dosažení maximální výšky změni úhel  $\gamma_n = -10^\circ$  na skutečný úhel čela  $\gamma_s = 34^\circ$ , tedy o  $44^\circ$ . Tato změna se pochopitelně značně projeví na změně součinitele přechování třísky  $k_p$ . V oblasti, kde se tvoří nárůstek a opět vzrůstá směrem k řezné rychlosti  $v_3$  (viz schéma na obr. 10) součinitel přechování  $k_p$  prudce klesá. Naproti tomu se žádné lokální extrémy nevyskytují na křivce podle obr. 12 při úhlu čela  $\gamma = 40^\circ$ , kdy je skutečný úhel čela  $\gamma_s$  roven prakticky úhlu čela  $\gamma$ . V tomto případě se součinitel přechování třísky plynule zmenšuje jen přímým účinkem řezné rychlosti. Pro ostatní hodnoty úhlu  $\gamma_n$  jsou změny skutečného úhlu čela tím menší, čím více se blíží úhel čela  $\gamma$  hodnotě  $\gamma = 40^\circ$ .

V úhlech čela nárůstek prakticky nivelizuje rozdíly a skutečný úhel čela zde dosahuje hodnoty  $\gamma_s = 30$  až  $40^\circ$  (obr. 12) maxima nárůstu. Proto se také hodnoty součinitele přechování v oblasti rychlosti  $v_2$  pro všechny úhly čela velmi málo liší, a se zvětšujícím se nárůstkem se rozdíl přechování třísky zmenšuje.

Nárůstek vzniká při obrábění ocelí, speciálních slitin, šedé a tvárné litiny, hliníku a jeho slitin. Při obrábění mědi nárůstek nevzniká. [9, s.16]



Obr. 12 Závislost lokálních extrémů na úhlech [9, s.16]

Otěruvzdorné povlaky na VDSK mají významný vliv na tvorbu nárůstu. Zejména povlaky TiN snižující adhezi částic obráběného materiálu, a omezující tvorbu nárůstu. Tvorbu nárůstu může také podstatně ovlivnit použití řezných kapalin se silným protinárůstkovým účinkem.

Nárůstek obvykle mívá dvě odlišné části, proto není stabilním útwarem. Variabilní část, jejíž výška se v průběhu obrábění mění a stabilní, která ulpívá pevně na čele. Stabilní část je na obr. 14 označena I. a variabilní II. K rozrušení variabilní části účinkem řezných sil dochází po dosažení určité celkové výšky nárůstu  $h_{II}$ . Variabilní část nárůstu označená B je unášena třískou a část C obrobenou plochou resp. plochou řezu. Poté opět narůstá variabilní část a znovu dochází k jejímu rozrušení. Poměrně vysoká frekvence rozrušení variabilní části nárůstu může dosáhnout 20 až 50 cyklů/sec. Drsnost k periodickému kolísání rozměru obrobku v radiálním směru je podstatně zhoršována částicemi unášenými třískou i obrobenou plochou. Tvrdý nárůstek přebírá funkci bříty.

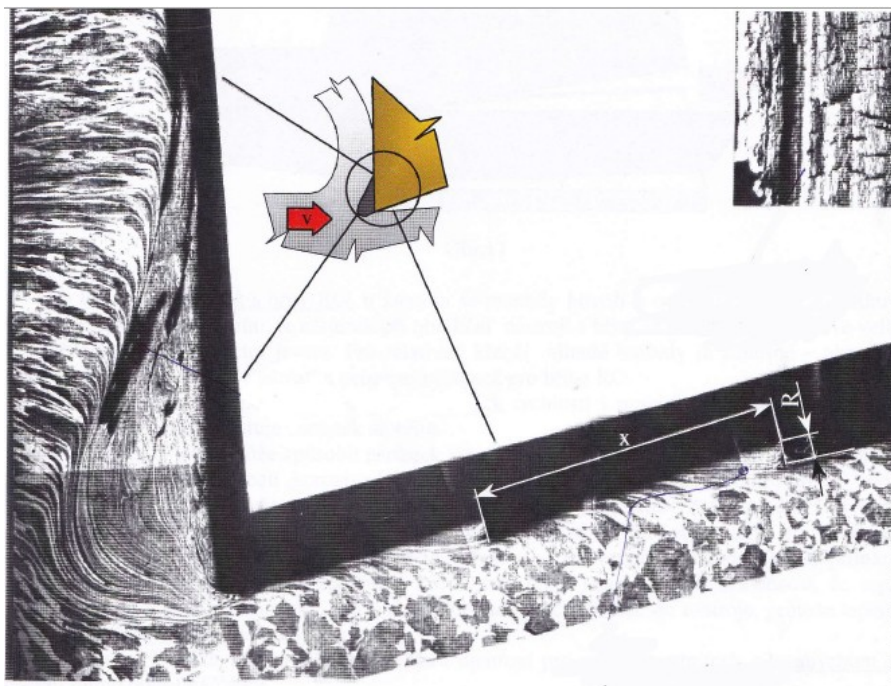


Na mikrofotografii (obr. 13) je zachycen odchod variabilní části nárůstku v tříске a na ploše řezu. Na obrázku je současně uvedena i mikrofotografie plochy řezu (obrobené plochy) znázorňující zřetelné stopy variabilní části nárůstku. Při soustružení oceli 14220.3 řeznou rychlostí  $v_c = 20 \text{ m/min}$  posuvem  $f = 0,25 \text{ mm/ot}$  byl kořen třísky zastaven.

Nárůstek výrazně snižuje velikost plastické deformace - součinitel přechování  $k_p$ , tím omezuje i řezné síly a fakticky přejímá funkci bříty. Až po tuhle fázi má nárůstek zdánlivě pozitivní vliv.

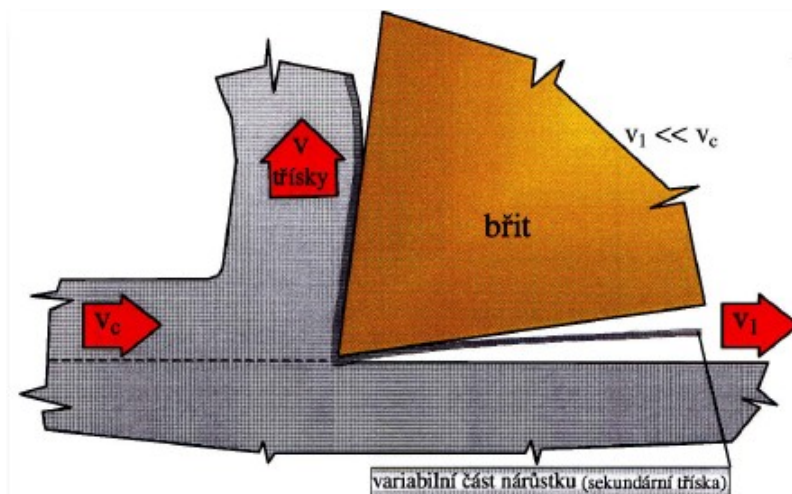
Vliv nárůstku je však z hlediska opotřebení bříty negativní. Tvrdé částice napomáhají ke zvýšení intenzity opotřebení bříty variabilní části rozrušeného nárůstku unášeného třískou i plochou řezu svým abrazivním účinkem. Odtržením částic nárůstku může dojít i k poškození bříty ve tvaru lasturovitých výlomů a tím i k negativnímu ovlivnění trvanlivosti bříty, při porušení adhezních svarů. [9, s.17]

Poměrně často se setkáváme s existencí rozsahu řezných podmínek, a to zejména při soustružení ocelí s nízkým obsahem uhlíku, případně při práci s austenitickou ocelí. Tento rozsah řezných podmínek, zejména řezných rychlostí, v němž dochází k výskytu nárůstku, není pro využití VDSK s povlaky typický. V širokém rozmezí řezných podmínek se nárůstek vyskytuje zejména při obrábění hliníku a jeho slitin. Nevyskytuje se naopak při obrábění mědi. [9, s.17]



Obr. 13 Mikrofotografie nárůstku [9, s.17]

Tzv. sekundární tříška vzniká za určitých řezných podmínek při soustružení feritické a i feriticko - perlitické tvárné litiny, která odchází do prostoru mezi plochou řezu a hřbetem. Schéma viz obr. 14. Při tom po čele odchází normální tříška jako při soustružení ostatních materiálů. V případě sekundární třísky jde v podstatě o variabilní část nárůstku, u něhož odchází částice ve tvaru pásu, jehož rychlost odchodu  $v_1$  je podstatně nižší než řezná rychlost  $v_c$ , ale nedochází k periodickému oddělení jednotlivých částic. Odchod variabilní části nárůstku je plynulý proces, ovlivňující specifickým způsobem opotřebení hřbetu. [9, s.18]



Obr. 14 Sekundární tříška [9, s.18]

Na rozdíl od nástrojů s břity RO, které jsou spojovány s ochranou funkcí nárůstku - chrání břit před opotřebením, je nárůstek při obrábění nástroji s břity ze slinutých karbidů ve velké většině případů nežádoucím jevem. Adhesně - abrasivní účinek odcházejících částic nárůstku je nebezpečnější pro břit z RO než pro relativně křehčí slinuté karbidy.

Proto je oblast optimálních řezných podmínek rychlostí i posuvů bezpečně umístěna nad oblastí podmínek, kdy vzniká nárůstek na břitu.

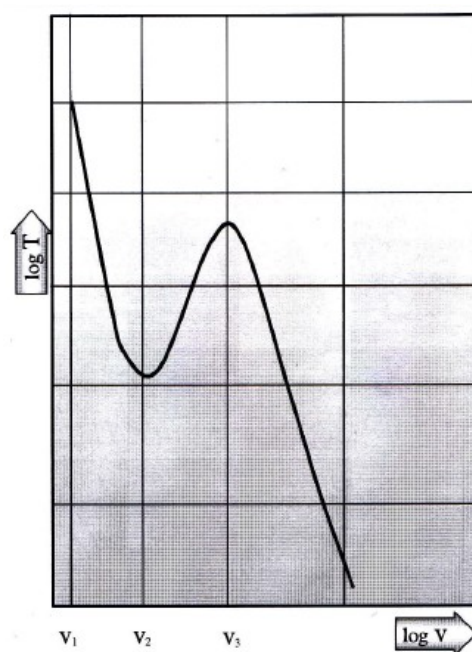
Značné komplikace může způsobit nárůstek při obrábění měkkých ocelí s nízkým obsahem C a zejména austenitických ocelí korozivzdorných. Zejména u nich dochází k silné adhesi částic obráběného materiálu. Pevné adhesní svary vznikají na čele nástroje, které vedou při odtržení velmi často k lasturovitým odlomením části břitu v bezprostřední blízkosti ostří. Je zapotřebí mít na paměti, že odřezávaná vrstva austenitických materiálů je při průchodu oblastí primární plastické deformace velmi silně zpevněna. Hraje zde navíc negativní roli ta skutečnost, že teplo vzniklé třením v oblasti sekundární plastické deformace přechází převážně do nástroje, protože tepelná vodivost těchto materiálů je podstatně nižší.

*V těchto případech je proto nutné udělat veškerá nutná opatření pro změnu podmínek takovým způsobem, abychom se dostali mimo oblast nárůstu.*

*Jsou to následující opatření:*

- a) zásadní zvýšení řezné rychlosti a posuvu*
- b) použití břitových destiček s pokud možno největším úhlem čela  $\gamma$  (o dostatečné pevnosti základního materiálu)*
- c) použít povlakovaný materiál s povrchovou vrstvou TiN*
- d) použít destičky s „ostrým“ břitem s minimální šířkou fazetky*

*Závěrem je nutno poukázat i na vliv nárůstu, na průběh  $T - v$  závislosti. Na obr. 15 je tento případ schematicky naznačen.*



*Obr. 15 Vliv nárůstu na průběh  $T$  [9, s.19]*

*V rozmezí řezných rychlostí, ve kterém existuje nárůstek, ztrácí  $T - v$  závislosti na dvojité logaritmické souřadnicové síti přímkový tvar a probíhá s výraznými lokálními extrémy. Trvanlivost břitu se snižuje v rozmezí řezných rychlostí  $v_1 - v_2$  (viz obr. 10), ve kterém roste výška nárůstu. Minimální hodnoty dosahuje při maximální výšce nárůstu ( $v_2$ ). Nárůstek se zmenšuje s dalším růstem řezné rychlosti v rozmezí  $v_2 - v_3$  až do úplného vymizení nárůstu - řezná rychlost  $v_3$ , kde trvanlivost břitu dosahuje maxima. K běžnému poklesu trvanlivosti břitu podle přibližně přímkové závislosti dochází již při dalším zvyšování řezných rychlostí  $v > v_3$ .“ [9, s.19]*

## 4. Opotřebení řezného nástroje

Znalost základních zákonitostí procesu opotřebení břitu po stránce kvantitativní i kvalitativní je nezbytná pro volbu optimálních pracovních podmínek a optimálního druhu nástrojového materiálu v konkrétním případě obrábění.

Pro vývoj řezných materiálů nových typů a také pro zlepšování úrovně stávajících druhů nástrojových materiálů dává konkrétní požadavky a podklady teorie opotřebení řezných nástrojů. Podklady, zejména ve formě empirických závislostí, využívajících se v praxi pro optimalizaci řezných podmínek, udávají výsledky kvantitativního sledování intenzity opotřebení, jako funkce podmínek obrábění (výsledky výzkumu řezivosti). Jako podklad pro zpracování ve formě optimalizačního softwaru nebo pro sestavování tabulek řezných podmínek bývají používány tyto závislosti. [1, s.42]

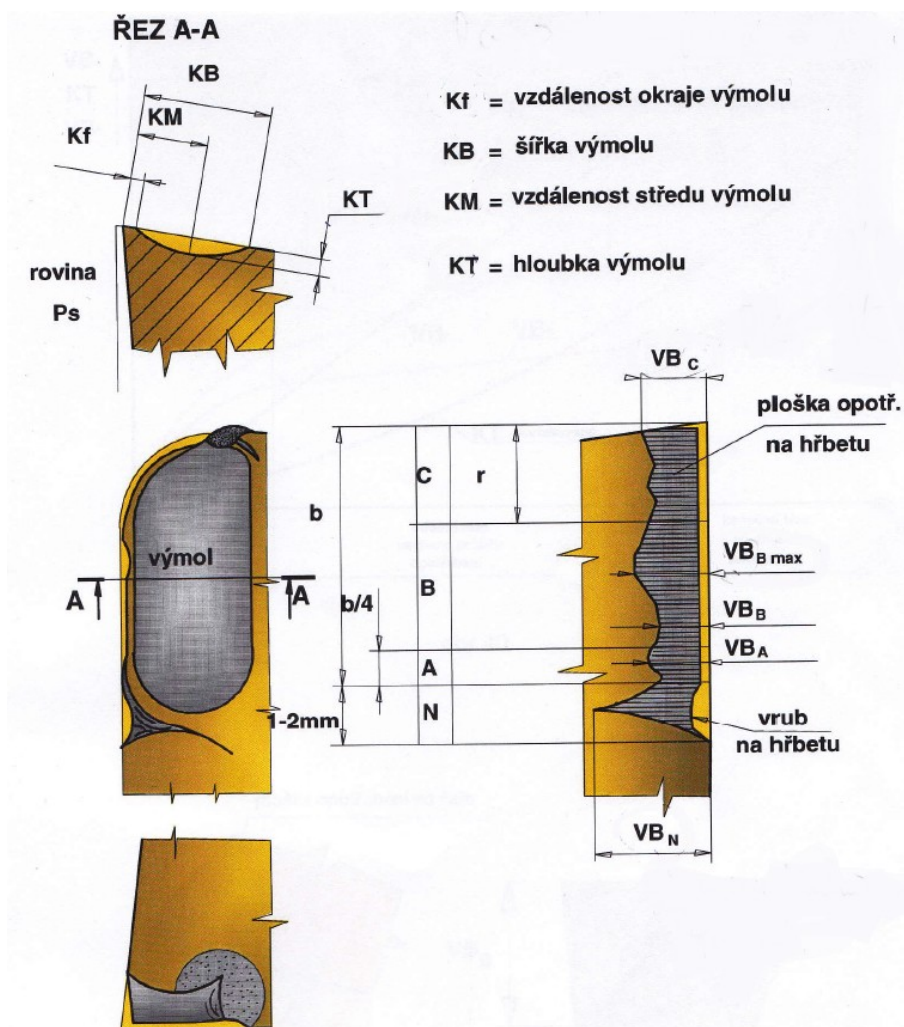
### 4.1. Řezné podmínky a typy (druhy) opotřebení břitu

Břit nástroje má široké spektrum užití v závislosti na řezných podmínkách, např. frézování, soustružení a vyvrtávání. Dále jsou podmínky specifikovány materiálem, jako je například obrábění oceli (uhlíkové, legované), litiny (šedá, tvárná, temperovaná), ocelolitiny, barevné kovy a umělé hmoty. Další z možných podmínek je ubírání třísky malých průřezů vysokými řeznými rychlostmi, nebo hrubování výkovků a odlitků znečištěné pískem i okujemi.

Je jasné, že takový rozsah podmínek použití bude mít za následek kvalitativní rozdíl opotřebení břitu. Druh opotřebení při namáhání na otěr za vysokých řezných teplot (vlivem vysokých řezných rychlostí) bude jiný než při mechanickém namáhání břitu při hrubování s přerušovaným řezem. Dle druhu nástrojového materiálu, obráběného materiálu a pracovních podmínek se na hlavním i vedlejším hřbetě, čele a špičce nástroje vyskytnou různé typy opotřebení. Na obr. 16 je naznačeno opotřebení vyskytující se při obrábění ocelí středními i vyššími posuvy a řeznými rychlostmi. Na čele vzniká výmol o rozměrech naznačených na obrázku, na hřbetě vzniká ploška opotřebení. Čím déle se obrábí, tím se zvětšují rozměry výmolu (zvláště jeho hloubka **KT**) a roste šířka plošky opotřebení hřbetu **VB<sub>B</sub>**. S rostoucí hloubkou výmolu slábne břit, tím může dojít za určitých podmínek k jeho prolomení a destrukci ostří. S rostoucí řeznou rychlostí a posuvem roste intenzita vymílání. [1, s.42]

Typy opotřebení břitu spolu s označením charakteristických rozměrů udává norma ISO 3685 (viz obr. 16). Charakterizující rozměr plošky opotřebení hlavního hřbetu je šířka  $VB_B$  k výskytu takzvané konečné fáze urychleného opotřebení, které může bezprostředně předcházet prolomení výmolu na hlavní hřbet [1, s.42]

Časová závislost opotřebení hřbetu je schematicky naznačena na obr. 17. Jeli řezná rychlost příliš vysoká, oddělená fáze rovnoměrného opotřebení se téměř nevyskytuje a hodnota  $VB_B$  roste stejně rychle jako v počáteční fázi zrychleného opotřebení. [1, s.42]

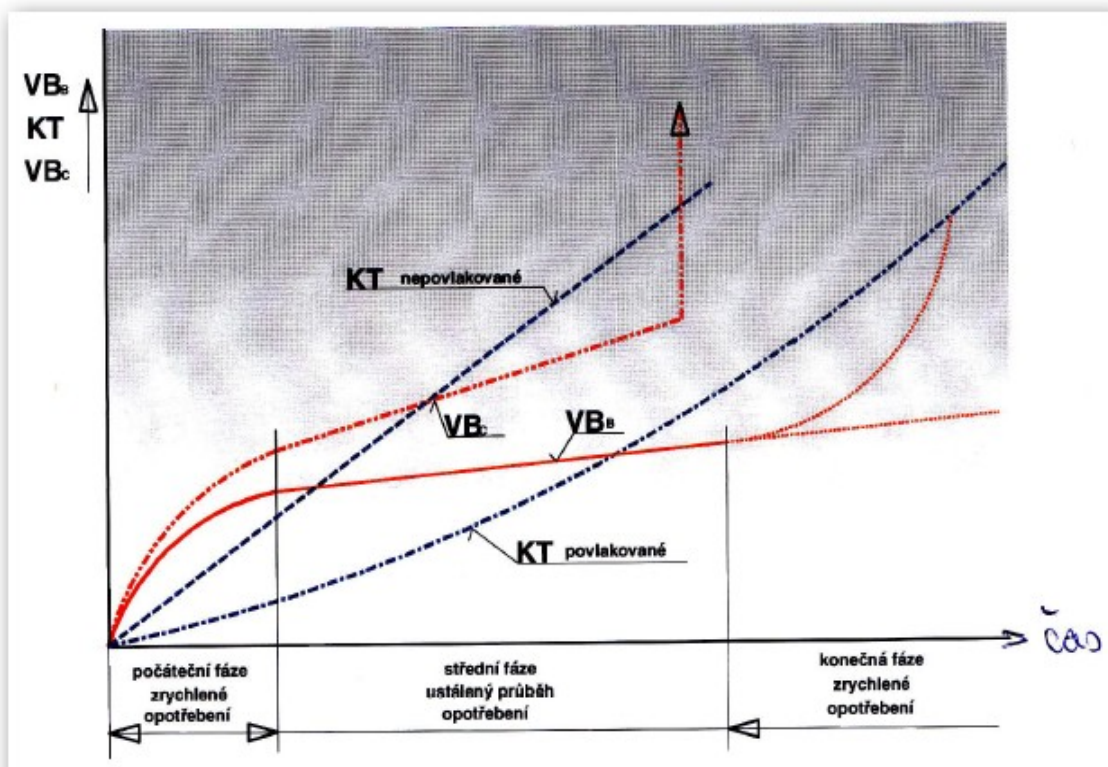


Obr. 16 Typy opotřebení břitu dle normy ISO 3685 [1, s.43]

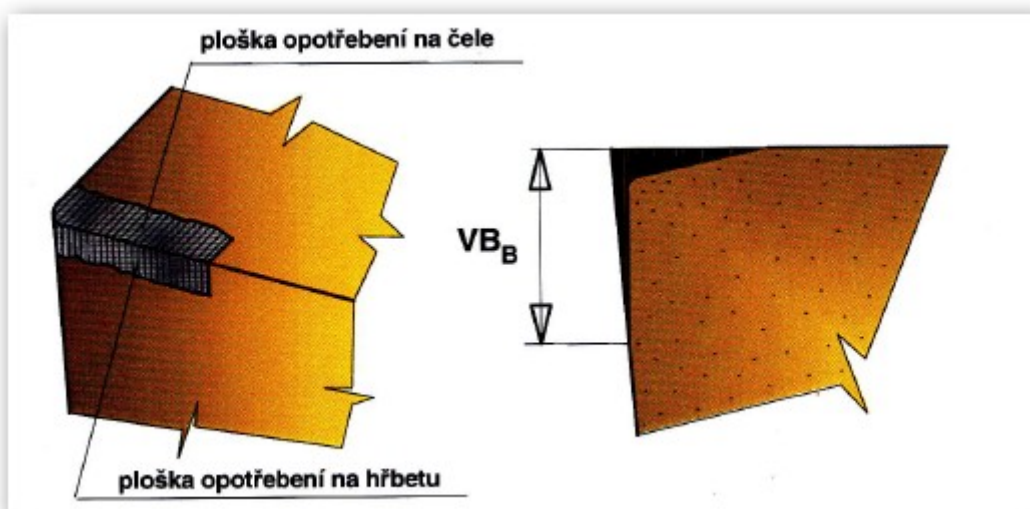
$VB_B$  (opotřebení břitu) je střední hodnota naměřená v prostřední části břitu. Opotřebení ve tvaru vrubu o šířce  $VB_N$  může vzniknout na konci aktivní části břitu. Může být způsobeno vlivem atmosférického kyslíku při proměnlivé hloubce řezu, nebo povrchovým zpevněním obráběné plochy. Podobný typ oxidačního opotřebení může vzniknout i na konci aktivní části špičky a vedlejšího hřbetu. Toto opotřebení výrazně ovlivňuje drsnost obrobeného povrchu a má tvar tzv. oxidační rýhy. [1, s.43]



Na obr. 18 je naznačený druh opotřebení, vznikající při soustružení šedé litiny. Na hřbetě i čele vzniká ploška, ale na čele se v průběhu obrábění téměř nezvětšuje. Tento druh opotřebení se však vyskytuje za každých podmínek. Při soustružení šedé litiny za řezných rychlostí kolem 120 m/min se objeví na čele výmol podobně jako například u obrábění oceli.[1, s.43]

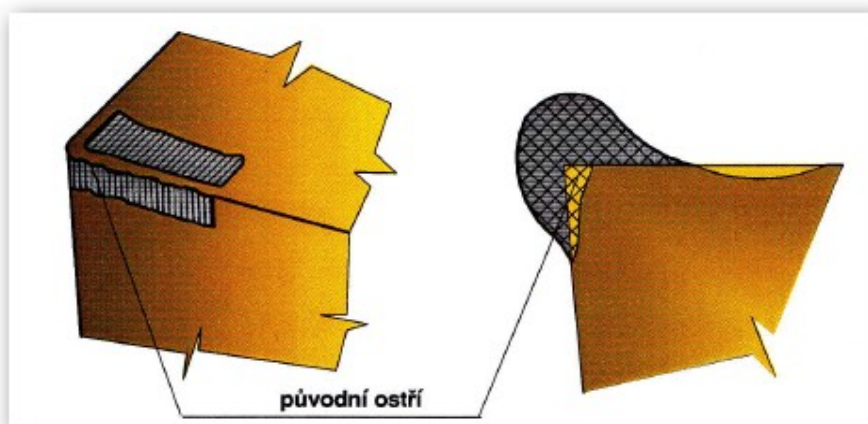


Obr. 17 Časová závislost opotřebení hřbetu[1, s.44]



Obr. 18 Opotřebení při soustružení šedé a tvrzené litiny [1, s.44]

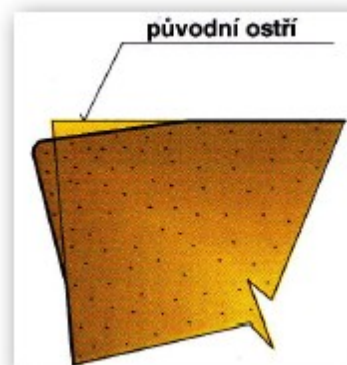
Opotřebení čela i hřbetu má jiný tvar v případě, jestliže se obrábí ocel při řezných podmínkách, kdy vzniká nárůstek na břitu (viz obr. 19). Ploška opotřebení vzniká na hřbetě, není však rovnoběžná se směrem řezné rychlosti, ale je skloněná o  $30^\circ$  až  $40^\circ$  vzhledem ke směru řezné rychlosti. Obdobně je to i u opotřebení čela. Ten má po vnější stránce tvar výmolu odlišného charakteru, než u výmolu vznikající při vyšších řezných rychlostech. Výmol i ploška opotřebení na hřbetě jsou většinou zaplněny částicemi nárůstku. Obrábí-li se ocel střední pevnosti, vyskytuje se nárůstek v rozsahu řezných rychlostí od 20 m/min až do 50 m/min (při posuvu od 0,15 mm/ot až 0,35 mm/ot). Přítomnost nárůstku lze poznat na povrchu, který je matný s poměrně velkou drsností [1, s.45]



Obr. 19 Nárůstek na břitu u soustružení oceli [1, s.45]

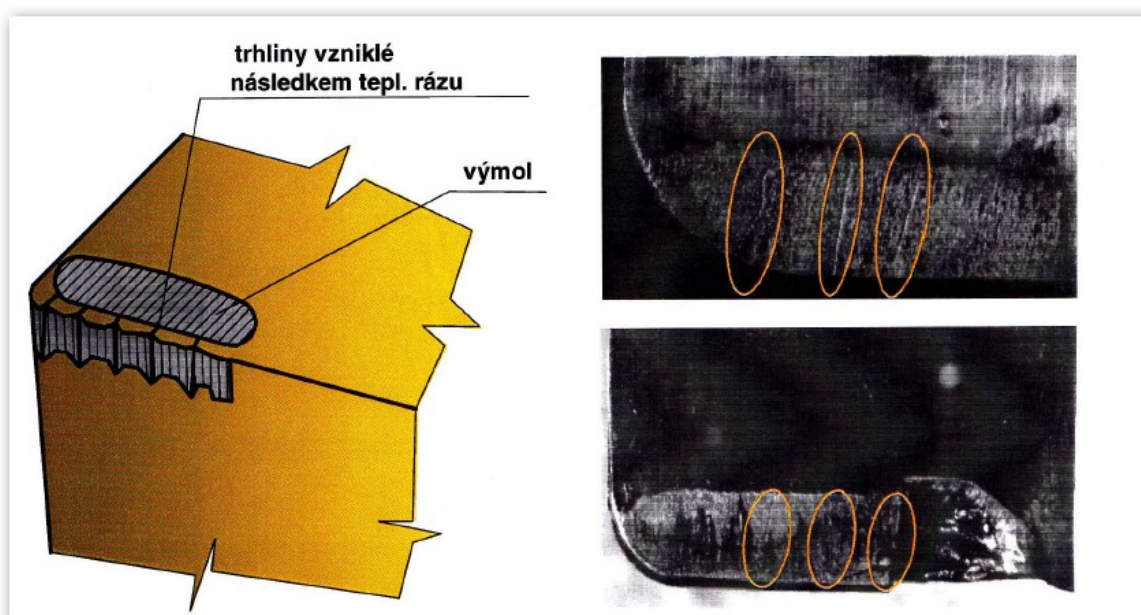
K plastické deformaci břitu dochází zejména při vyšších řezných rychlostech a posuvech při obrábění ocelí a těžkoobrobitelných materiálů v případě, kdy má břitová destička malý úhel špičky  $\epsilon_r$  a malé zaoblení  $r_\epsilon$ .

Dochází k ní v důsledku vysoké řezné teploty a velkých řezných sil. Tento případ je schematicky naznačen na obr. 20. Plastická deformace je z počátku velmi nepatrná, pouhým okem nerozeznatelná. Ostří se vytlačí směrem na hřbet. Tato deformace roste s dobou obrábění a až po dosažení určité velikosti vede k rychlému zničení břitu. Má vliv na šířku plošky opotřebení hřbetu  $VB_B$ .



Obr. 20 Plastická deformace za tepla [1, s.45]

K obvyklému opotřebení čela a hřbetu může mimo jiné docházet ke vzniku trhlin kolmých na ostří (viz obr. 21) při přerušovaném řezu. Takové trhliny jsou důsledkem periodického kolísání teploty v povrchových vrstvách destičky (okolí ostří, čelo, hřbet). S dobou obrábění se postupně zvětšují, roste i jejich počet a po určitém čase začne vznikat síť trhlin, které jsou orientovány ve vodorovném směru podél ostří. V případě, jsou-li teplotní rázy doprovázeny i mechanickými rázy, bývá opotřebení na hřbetu nepravidelné. Na obr. 21 je naznačeno intenzivnější opotřebení hřbetu podél trhlin a na plošce opotřebení vzniknou výběžky. Po nějakém čase trhliny oslabí břit natolik, že ve spoustě případů dochází k vydrolení ostří, nebo i větší části břitu. K tomuto typu opotřebení dochází převážně při čelním frézování oceli. Porušení břitu trhlínami po teplotních rázech je na fotografii viz obr. 21. [1, s.46]



Obr. 21 Vznik trhlin při přerušovaném řezu (frézování) [1, s.46]



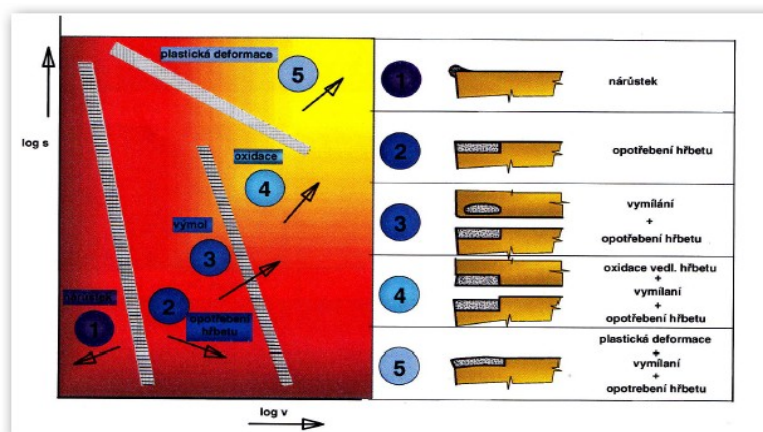
## 4.2. Mechanické porušení břitu

U nástroje ze slinutých karbidů může velmi často docházet k mechanickému poškození. Konkrétně jde buď o vydrolení, nebo o lom části ostří, popřípadě celé břitové destičky. K těmto druhům poškození nástrojů dochází především při silném mechanickém namáhání řezného břitu. (například rázy při přerušovaném řezu nebo vlivem předchozího ovlivnění teplotními rázy. Jestliže se vyskytují v obráběném materiálu tvrdé vměstky (např. písek), může také docházet ke křehkému porušení ostří. Otupení je druhem mechanického poškození břitu a dochází k němu náhodně. Vyskytuje se u nástrojů s určitým stupněm opotřebení, stejně jako u ostrého nástroje na začátku řezu. Kladný vliv na nástroje ze slinutých karbidů má zvýšený obsah kobaltu. Kobalt má za následek zvýšení houževnatosti a díky tomu jsou nástroje odolnější proti mechanickému poškození. [1, s.51]

## 4.3. Převládající typ opotřebení v závislosti na řezných podmínkách

Z popisu jednotlivých typů opotřebení funkčních ploch vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů vyplývá, že se na břitu vyskytuje řada různých druhů opotřebení. V daném případě obrábění se obvykle vyskytuje několik typů opotřebení, avšak jejich růst v průběhu obrábění neprobíhá stejnou rychlostí. Rozhodujícím pro stupeň otupení nástroje (a tím limituje jeho trvanlivost) se stává jeden z existujících druhů opotřebení, který dle podmínek obrábění dosahuje vyšší intenzity opotřebení v porovnání s ostatními.

Pro daný nástrojový materiál a materiál obrobku je typ převládajícího opotřebení závislý hlavně na řezných podmínkách (především řezná rychlost a posuv) Na obr. 22 je schematicky zaznačená závislost převládajícího typu opotřebení na řezné rychlosti  $v$  a posuvu  $f_a$ . [1, s.52]



Obr. 22 Převládající typy opotřebení [1, s.52]






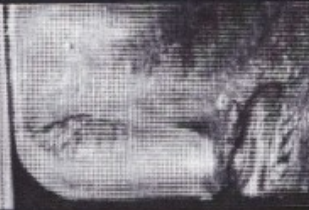
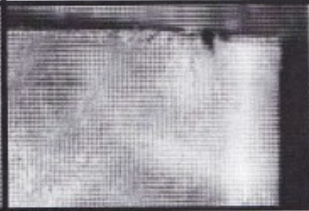


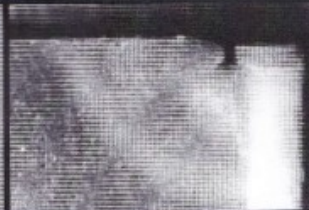


Pokud jsou řezná rychlost a posuv příliš malé, dochází k nárůstu na břit. Z toho důvodu převládá abrazivní typ opotřebení vlivem odcházejících tvrdých částí nárůstu. Vlivem rostoucí řezné rychlosti a posuvu roste i řezná teplota. Typ opotřebení je nejdříve opotřebená ploška na hřbetě, pokračuje to přes výmol na čele, oxidaci vedlejšího hřbetu blízko špičky a na závěr může dojít k plastické deformaci břitu při nejvyšší řezné rychlosti a posuvu.

K plastické deformaci dochází tehdy, jsou-li překročené určité mezní řezné podmínky. Je to nežádoucí projev opotřebení, který má zásadní vliv na pracovní geometrii břitu a také utvařeče (nepříznivě ovlivňuje jejich funkci). Volbu posuvu ovlivňuje úhel špičky  $\varepsilon_r$  a poloměr zaoblení špičky  $r_e$ . [1, s.52]

Plastická deformace je určitý signál, kdy dosáhneme mezních podmínek tepelného zatížení břitu. Při dosažení takzvaného „absolutního kritéria“ dojde k totálnímu zničení břitu v případě, kdy dojde k poklesu tvrdosti břitu  $H_{SK}$  vzhledem k tvrdosti obráběného materiálu  $H_{obr}$  pod určitou hranici.




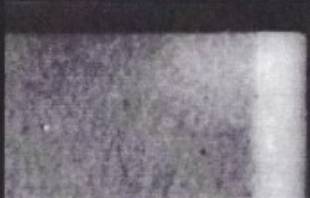



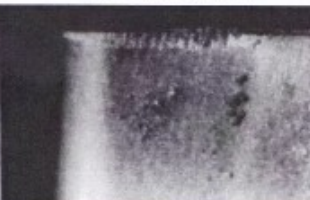




$$\frac{H_{SK}}{H_{obr}} = 1,3 \div 1,5 \quad (4.1)$$

Pokud dojde k něčemu takovému, rozumíme tomu jako překročení meze tepelné stability v substrátu břitové destičky. Na obr. 23 je časový průběh nárůstu některých typů opotřebení, které jsou popsány výše, při hloubce řezu  $a_p = 2$  mm, posuvu  $f = 0,325$  mm/ot a řezné rychlosti  $v_c = 160$  m/min. Na obr. 24 je časový průběh opotřebení stejnou destičkou při hloubce řezu  $a_p = 2$  mm, posuvu  $f = 0,25$  mm/ot a řezné rychlosti  $v_c = 280$  m/min. V obou případech se soustružil stejný materiál 12050.1. [1, s.53]

Tvar destičky		Obráběný materiál		Rezné podmínky		
SNUN 120408		ocel 12 050,1		$v = 160$ [m/min]	$f = 0,625$ [mm/ot]	$a_p = 2,0$ [mm]
čas $T$ [min]						
6'						
	$VC = 0,08$ mm	$VB = 0,08$ mm	$KT = 5$ $\mu$ m			
16'						
	$VC = 0,10$ mm	$VB = 0,10$ mm	$KT = 28$ $\mu$ m			
21'						
	$VC = 0,13$ mm	$VB = 0,10$ mm	$KT = 52$ $\mu$ m			
26'						
	$VC = 0,25$ mm	$VB = 0,12$ mm	$KT = 110$ $\mu$ m			

Obr. 23 Časový průběh opotřebení při  $v_c = 160$  m/min [1, s.53]

Na obr. 23 je dobře viditelné oxidační rýha na vedlejším hřbetu, která se po  $T = 16$  min zřetelně prohlubuje. Prolomení výlomu na vedlejší hřbet je velmi dobře viditelné po 26 minutě. Dále je dobře viditelná plastická deformace (stlačení) špičky, zejména při  $T = 26$  min. Kolísající hloubka řezu způsobila výrazný vrub v místě, kde vychází hlavní břit ze záběru. [1, s.54]

Tvar destičky		Obráběný materiál		Řezné podmínky	
SNUN 120408		ocel 12 050.1		$v = 280$ [m/min]	$f = 0,250$ [mm/ot] $a_p = 2,0$ [mm]
čas $T$ [min]					
6'					
	$VC = 0,05$ mm	$VB = 0,05$ mm	$KT = 3$ $\mu$ m		
16'					
	$VC = 0,10$ mm	$VB = 0,12$ mm	$KT = 32$ $\mu$ m		
21'					
	$VC = 0,14$ mm	$VB = 0,23$ mm	$KT = 210$ $\mu$ m		
26'					
	$VC = 0,30$ mm	$VB = 0,26$ mm	$KT = 420$ $\mu$ m		

Obr. 24 Časový průběh opotřebení při  $v_c = 280$  m/min [1, s.54]

Oxidační rýha na vedlejším břitu je na obr. 24 zpočátku velmi málo rozvinutá. Na fotografii čela je vidět ze začátku velmi nevýrazné opotřebení. Vymílání čela po odstranění povlaku zhruba uprostřed kontaktní plochy mezi třískou a čelem nabývá na intenzitě, až dojde k prolomení výmolu na vedlejší hřbet v blízkosti špičky. [1, s.54]



#### 4.4. Fyzikální podstata procesu opotřebení

Ve styčné ploše mezi nástrojem a obrobkem dochází k opotřebení nástroje otěrem. Otěr je výsledkem několika jevů, zahrnující jak mechanické tak i chemické děje, které se často překrývají a prolínají. Porušení povrchu nástroje vlivem odcházející třísky v ploše řezu, aniž by se změnilo chemické složení povrchové vrstvy slinutého karbidu je mechanický typ opotřebení. Naopak, změnil-li se nejprve v menší či větší míře chemické složení povrchové vrstvy nástroje ze slinutého karbidu v místě řezu, mluvíme o opotřebení chemickém. Vlivem toho se zhoršují mechanické vlastnosti nástroje v místě řezu a tím se snižuje jeho odolnost proti otěru.

Opotřebení, při kterém dochází k odřezávání části nástroje vlivem mikroskopických, ale velmi tvrdých součástí (podobně jako brusná zrna při broušení), nazýváme abrazivním typem opotřebení. Vliv tohoto opotřebení je závislý na tvrdosti, velikosti, tvaru a množství abrazivních částic a na dráze nástroje vůči obrobku.

Další typ mechanického opotřebení je otěr vlivem adheze. Dochází k němu mezi obráběným materiálem a čistým povrchem slinutého karbidu, které jsou vzájemně ve styku na čele i hřbetě.

K opotřebení v důsledku oxidace dochází při vyšších řezných rychlostech, kde některé slinuté karbidy reagují buď s řeznou kapalinou, vzduchem z atmosféry nebo i s obráběným materiálem.

O difuzním opotřebení hovoříme v případě, kdy nedochází k opotřebení běžnou oxidací, přesto materiál nástroje a obrobku se v sobě rozpouštějí (difundují) a vytvářejí chemické sloučeniny a tuhé roztoky, které mají rozdílné vlastnosti oproti původnímu materiálu nástroje.

Mechanický typ opotřebení je závislý především na mechanických vlastnostech obou povrchů (převážně na poměru tvrdostí). Na druhou stranu difuzní a oxidační opotřebení je fyzikálně - chemický děj, kde intenzita je funkcí teploty styčných ploch obou materiálů.  
[1, s.55]

Intenzita mechanických typů opotřebení je závislá na teplotě pouze v případě, kdy ovlivňuje poměr tvrdostí materiálem nástroje a materiálem obrobku ( $H_{SK}/H_{obr}$ ). Za to fyzikálně chemické opotřebení je závislé na teplotě styku mezi nástrojem a obrobkem a na

jejich chemické aktivitě bez ohledu na poměr tvrdosti. Následujícím způsobem je možno rozdělit děje, které bezprostředně vedou k opotřebení břitů:

abraze + adheze - mechanické typy opotřebení

difuze + oxidace - chemické typy opotřebení

Za určitých podmínek obrábění se všechny děje nepodílejí stejnou měrou na celkovém opotřebení. Pro danou dvojici obráběného materiálu a slinutého karbidu může (podle obráběcích podmínek) převládat jeden či druhý děj. Rozhodujícím činitelem jež udává převládající děj, je teplota kontaktu nástroje s obrobkem. [1, s.55]

Mechanické typy opotřebení (abraze a hlavně adheze) převládají v případě, obrábí-li se při nízkých řezných rychlostech a tím pádem i při nízkých řezných teplotách. V případě kdy se zvyšuje řezná rychlost, rostou i řezné teploty. Jakmile se dosáhne určité kritické teploty, zvýší se intenzita difuzních pochodů natolik, že se stanou převládajícím dějem v procesu opotřebení. K difuzi dochází mezi povrchovými vrstvami slinutého karbidu (především povlak) a mezní vrstvy třísky (plocha řezu). Stejně jako oxidace se projeví na celkovém opotřebení až s určitou řeznou teplotou.

Opotřebení čela u nástrojů ze slinutých karbidů jsou zapříčiněny především difuzními pochody převládajících za vysokých řezných rychlostí při obrábění ocelí. Dále může důležitou roli při obrábění vyšší řeznou rychlostí mít oxidace vedlejšího hřbetu. Oxidace na slinutých karbidech se začíná výrazněji projevovat od teplot kolem 600°C až 800°C. K difuzi mezi slinutými karbidy a ocelí začíná docházet v intervalu teplot 850°C až 1000°C, záleží však ještě na chemickém složení obou materiálů a jejich chemické aktivitě.

Je zřejmé, že chemické typy opotřebení se vyskytují pouze u slinutých karbidů, protože mezní teploty, které chemické typy opotřebení omezují, jsou nad teplotou popouštění rychlořezných ocelí. Proto převládající typ opotřebení u rychlořezných ocelí je abrazivní a adhezivní otěr. [1, s.56]

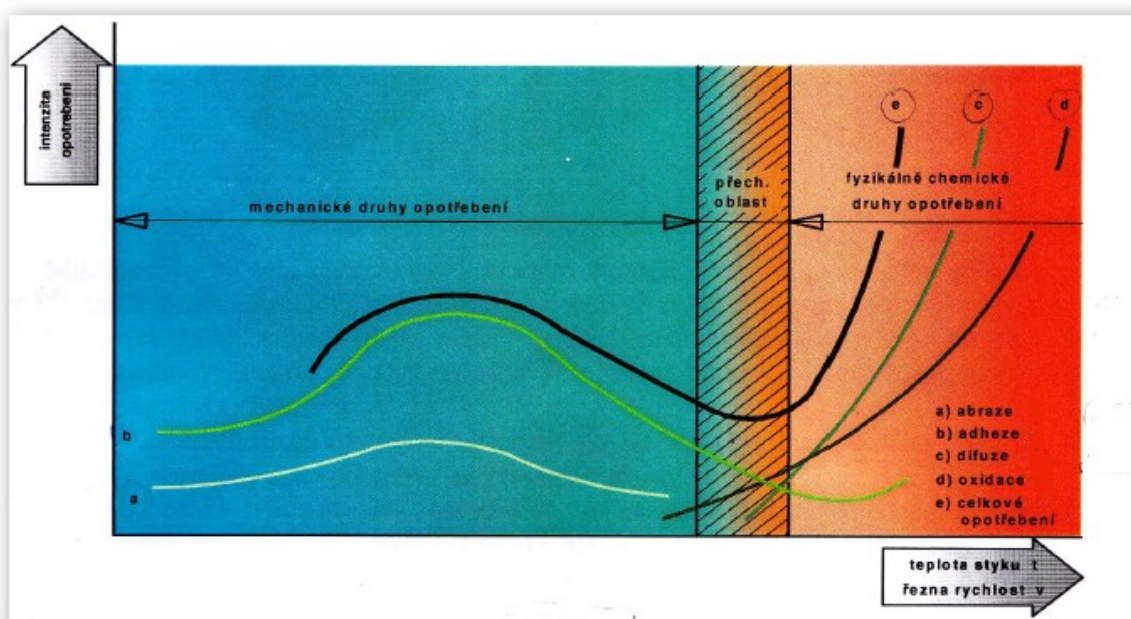
Opotřebení břitů nástroje je souhrnný výsledek celého komplexu jevů, které se odehrávají mezi břitem a obráběným materiálem, ne výsledek jednoho děje.

Na opotřebení hřbetu, vedlejšího hřbetu a čela se v konkrétním případě obrábění podílí současně několik jevů. V procesu opotřebení však bývá jeden děj převládajícím. O tom, který děj bude v procesu opotřebení převládající, rozhoduje řezná teplota a řezné

podmínky - do té míry, do jaké ovlivňují řeznou teplotu. Závislost jednotlivých typů opotřebení na řezné rychlosti (resp. teplotě řezání) je schematicky znázorněna na obr. 25.

Mluvíme-li o mechanickém typu opotřebení, převládá u slinutých karbidů adhezní opotřebení. Za to v případě fyzikálně - chemického typu opotřebení převládá většinou u opotřebení vedlejšího hřbetu v blízkosti špičky oxidace a u výmolu na čele difuze.

Abrazivní typ opotřebení u slinutých karbidů hraje významnou roli pouze tehdy, vyskytují-li se v obráběném materiálu tvrdé abrazivní částice. [1, s.56]



Obr. 25 Závislost jednotlivých typů opotřebení na řezné rychlosti [1, s.56]

#### 4.5. Abrazivní a adhezní opotřebení funkčních ploch břitových destiček SK

Přehled základních jevů, které vedou k opotřebení břitu nástroje ze slinutých karbidů, byl uveden v úvodu této kapitoly. Tato problematika bude podrobněji objasněna, protože má pro výrobce nástrojů ze slinutých karbidů velký význam.

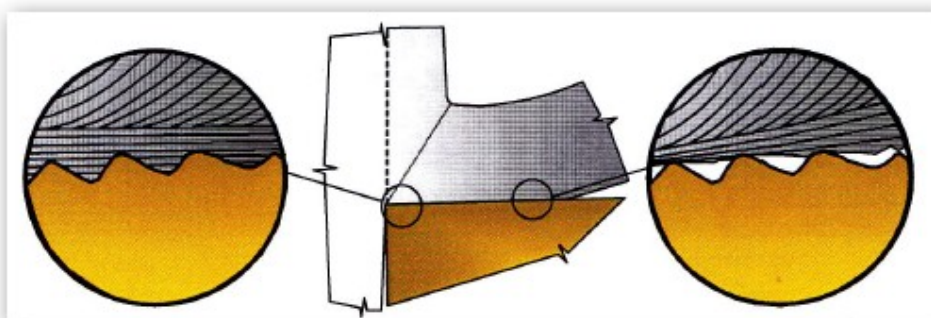
Pochody probíhající mezi čelem - třískou a mezi hřbetem - plochou řezu jsou zásadní pro použití a vývoj řezných nástrojů ze SK, proto je důležité si objasnit příčiny opotřebení. Pro stanovení konkrétních požadavků na mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti nástrojů je zapotřebí dokonalá znalost jevů, které jsou příčinou opotřebení. Pro vývoj slinutých karbidů a celkově nástrojových materiálů je zapotřebí podkladů, získané studiem procesu opotřebení nástroje.

V dnešní době se slinutých karbidů používá i pro obrábění různých speciálních technických materiálů, ne pouze pro obrábění litiny a běžných ocelí. Pro maximální využití vlastností SK je zapotřebí správná volba řezných podmínek, proto je nezbytně nutná znalost opotřebení nástroje i pro technologa a konstruktéra nástroje.

Na otázky zabývající se třením a opotřebením strojních součástí existuje velké množství prací. Bohužel tyto práce lze pro studium vývoje opotřebení použít pouze v omezené míře. Podmínky, při kterých probíhá opotřebení běžných strojních součástí se podstatně liší od podmínek, při kterých pracuje břit nástroje.

Na opotřebení hřbetu a čela nástroje mají vliv tyto různé podmínky:

- a) tření třísky o plochu řezu a o čelo hřbetu probíhá za vysokých teplot;
- b) ve styku plocha řezu - hřbet a tříska - čelo působí velké tlaky, které mají zásadní vliv na charakter styku.



*Obr. 26 Mikronerovnosti čela nástroje [1, s.57]*

Skutečná styková plocha třísky s čelem se zvětší, proto vzniká tzv. plošný styk. Je to dáno tím že mikronerovnosti čela nástroje se v oblasti tření zaplní odcházejícím materiálem - třískou (viz obr. 26). Bodový styk nastává jen za nižších řezných teplot a tlaků (za nižší řezné rychlosti) To znamená, že styk nastává jen na vrcholcích mikronerovností. Většinou dochází ke styku jen v oblasti vnějšího tření mezi čelem a třískou.;

- c) tření mezi obrobeným povrchem a funkčních ploch nástroje má charakter suchého tření. Stýkají se chemicky čisté povrchy (jen při nepřerušovaném řezu);
- d) ve styku tříska - čelo dochází k druhotné plastické deformaci odcházející třísky. Deformovaná mezní vrstva třísky se stýká s čelem nástroje;



- e) výchozí struktura obráběné oceli se mění v plasticky deformované vrstvě třísky za působení vysokých teplot. Přeměna železa  $\alpha$  v železo  $\gamma$  má zásadní vliv na vývoj opotřebení hřbetu i čela při obrábění materiálů s rozdílným obsahem uhlíku;
- f) s jedním místem obrobku se dostane nástroj do styku jen jednou, tzn. břit nástroje je v kontaktu pořád s novým a novým materiálem obrobku.

Na začátku této kapitoly je uvedeno, že příčina otěru hřbetu a čela nástroje je postupné narušování mikronerovností povrchu funkčních ploch nástroje. To je základní předpoklad teorie abrazivního opotřebení. Jednotlivé částičky břitu jsou odřezávány nebo odlamovány tvrdými strukturními složky (vměstky) v obráběném materiálu. Abrazivní účinek je v jednotlivých strukturních složkách různý při obrábění litiny a oceli. Martenzit a cementit má značný abrazivní účinek na hřbet i čelo. Dle této teorie je za hlavní abrazivní prostředek považován právě cementit a to jak primární tak i sekundární. Avšak jeho základní zákonitosti a podstatu procesu opotřebení SK nelze dle této teorie vysvětlit.

Abrazivní opotřebení nástrojů ze slinutých karbidu převládá především při obrábění hrubých odlitků a výkovků (kvůli písku a okují) a při obrábění nekovových materiálů jako je například kámen a některé plastické hmoty. [1, s.58]

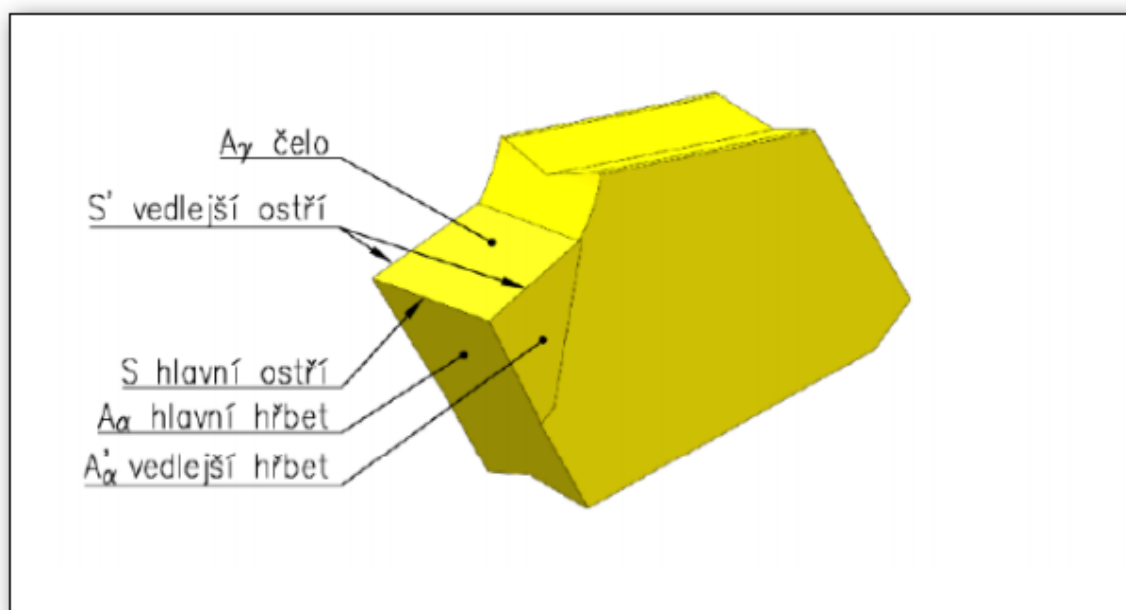
## 5. Využití VBD při upichování

### 5.1. Geometrie VBD

Plochy a úhly určují geometrii VBD. Ta ovlivňuje řeznou sílu, teplotu vznikající při řezání, trvanlivost nástroje a také stabilitu procesu. [8, s.14]

### 5.2. Základní plochy VBD

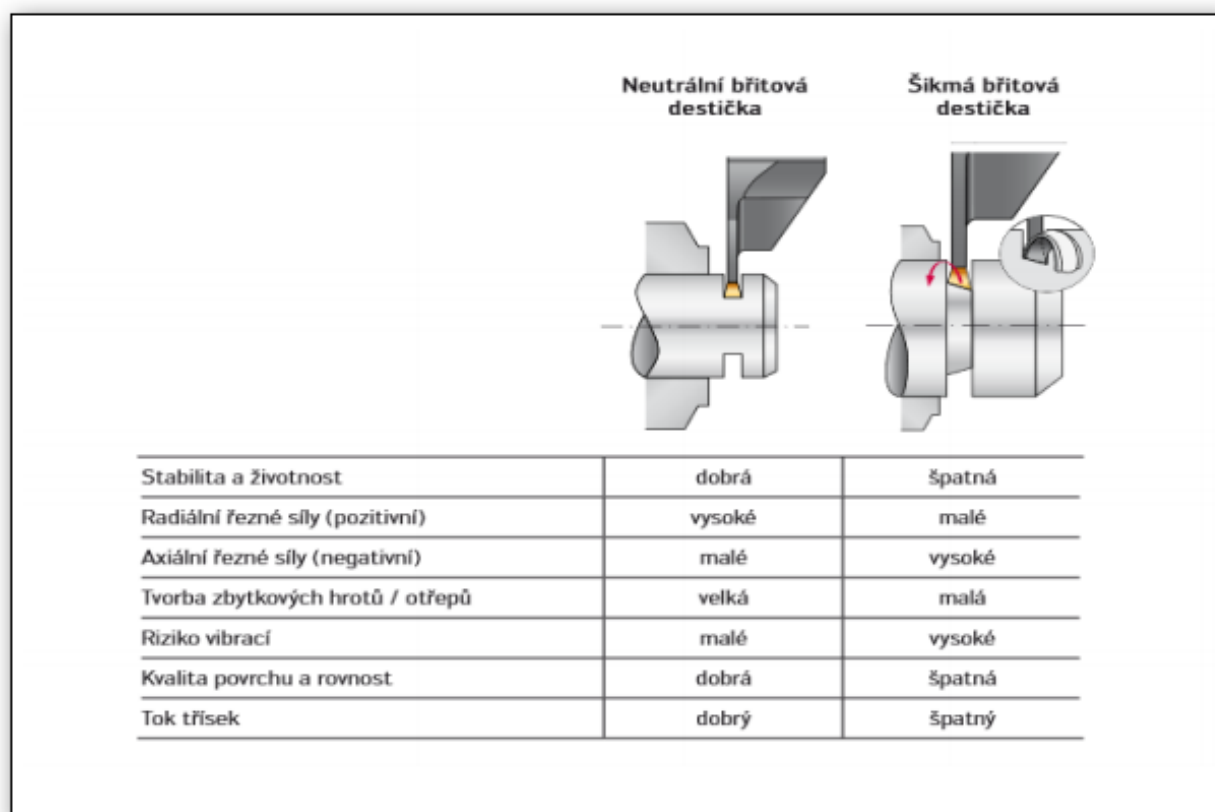
Třísky odchází po ploše čela  $A_\gamma$ . K lámání, nebo svinování třísky může být na čele zhotoven utvařec třísky. Dále máme dva hřbety. Jeden směřuje k obrobené ploše, ten se nazývá vedlejší hřbet  $A_{\alpha'}$ . Druhý směřuje k přechodové ploše a ten se nazývá hlavní hřbet  $A_\alpha$ . Řezný proces je vytvářen prvkem pod pojmem ostří. Ostří se dělí na hlavní ostří  $S$  (vytváří přechodové plochy) a vedlejší ostří  $S'$  (utváří dokončovací práci na obrobené ploše) [8, s.14]



Obr. 29 Základní plochy a ostří u VBD pro zapichování a upichování [8, s.14]

### 5.3. Nástrojové úhly

Zásadní vliv na tvorbu třísky má úhel čela  $\gamma_0$ . Ten ovlivňuje velikost řezných sil a zároveň tepelné zatížení břitu. Na tuhost břitu má vliv úhel hřbetu  $\alpha_0$ . Ten ovlivňuje velikost tření mezi hřbetem nástroje a plochou řezu. Čím je tento úhel menší, tím k většímu tření dochází, čímž se zvětšuje opotřebení hřbetu. Na složky řezné síly a tvar třísky má vliv úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$ . Úhel nastavení vedlejšího ostří  $\kappa_r'$  má zase vliv na výslednou drsnost obrobeného povrchu. Na tuhost nástroje má vliv úhel sklonu hlavního ostří  $\lambda_s$ . Směr odchodu třísky má vliv zatížení špičky a je ovlivněn úhlem  $\lambda_s$ . Pokud je úhel kladný, tříska odchází směrem od obrobené plochy, naopak pokud je úhel záporný, odchází tříska do obrobené plochy. Strukturu povrchu obrobku je ovlivněna poloměrem zaoblení špičky  $r_e$ . Břitové destičky pro upichování se dělí na tři kategorie: neutrální N (úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r = 0^\circ$ ), pravořezné RH a levořezné LH (úhel nastavení hlavního ostří je kladný nebo záporný). Vliv nastavení hlavního ostří na řezný proces je na obr. 30. [8, s.15]

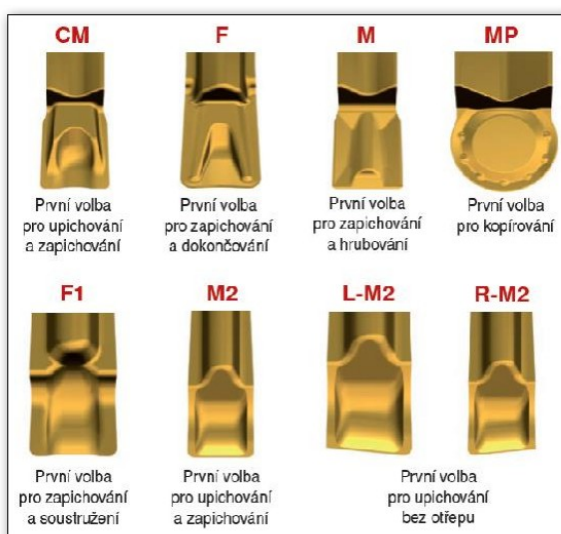


Obr. 30 Vliv nastavení hlavního ostří na obrábění [8, s.15]

#### 5.4. Lamače třísek

Při upichování je odvod a schopnost lámání třísky omezena úzkým prostorem. Pokud v tomto prostoru dojde k hromadění třísky, může dojít k jejímu zasekávání a poškození povrchu obrobku, nebo i zlomení nástroje. Pro hladký odvod třísky je z toho důvodu zhotoven utvařec na čele vyměnitelné břitové destičky. Konstrukce utvařeče je taková, aby se tříska stáčela (lámala). [8, s.17]

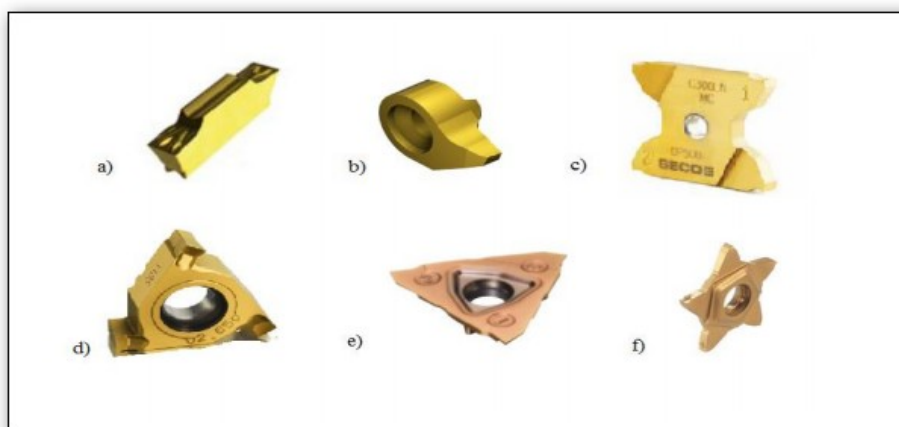
Konstrukce utvařečů je různá. Pro upichování a zapichování nabízí firma Dormer Pramet různé optimalizované typy utvařečů pro dané operace (obr. 31). [8, s.17]



Obr. 31 Druhy utvařečů od firmy Dormer Pramet [8, s.17]

#### 5.5. Tvary VBD

Dle normy ČSN 1832 je základní obdélníkový tvar pro zapichování a upichování označován jako L. Dále existují speciální tvary a označení tohoto tvaru může být v ISO kódu. To záleží na každém výrobcí (viz obr. 32). [8, s.18]



Obr. 32 Příklady tvarů VBD a) obdélníkové, b - f) speciální tvary [8, s.18]

Na obr. 32 b) je znázorněn VBD od firmy Sandvik Coromant řady Corocut MB. Tyto destičky se vyznačují čelním upínáním. Jsou vhodné pro přesné dokončovací operace při použití nízkých rychlostí posuvů, a nízkými řeznými rychlostmi. Používají se pro čelní zapichování, před upichování, tvarové obrábění, zpětné vrtání, soustružení, soustružení závitů a výrobu mělkých drážek. Břítové destičky mají velmi ostrou řeznou hranu, která je opatřena tenkou vrstvou povlaku. Tato řezná hrana břítové destičky se ideálně využívá pro obrábění vnitřních ploch ve spojení s vysokou stabilitou nástrojů. Výroba těchto destiček je velice variabilní co do šířky tak i poloměrů zaoblení rohů břítových destiček. Určené jsou pro zapichování a normalizované typy drážek (např. drážky pro pojistné kroužky či O-kroužky. Aplikační oblasti podle ISO P, M, N, S. [8, s.18]

Na výrobu úzkých a přesných drážek (např. pro pojistné kroužky) se používá VBD řady CoroCut® 3 (viz obr. 32 e). Díky její snížené šířce a třem řezným hranám se v hromadné výrobě promítne její hospodárnost. Lze s ní ušetřit tuny materiálu. Je vhodná k obrábění všech tříd materiálů ze skupin ISO S, K, M a P. Je vhodná pro upichování materiálů s malým průměrem (do 12 mm) nebo kroužků s tenkou stěnou. Hloubka řezu je doporučována do 6,4 mm a šířka zápichu od 0,5 mm po 3,18 mm. [8, s.18]

Vyrábí se ve čtyřech různých geometriích:

- CS pro upichování s extrémně nízkými rychlostmi posuvu
- RS pro tvarové obrábění a zapichování s nízkými rychlostmi posuvu
- GS pro přesné zapichování s nízkými rychlostmi posuvu
- CM pro upichování s rychlostmi posuvu pohybujícími se ve střední oblasti

Pro náročné vnější a vnitřní zapichovací operace je určena destička CoroThread® 254 (viz obr. 32 d). Jakýmkoliv pohybům břítové destičky, vlivem změny směru a velikosti řezných sil, brání stabilizační vedení ve tvaru T v lůžku. Destička je určena pro zapichování s nízkými až středními rychlostmi posuvů a jsou vhodné pro obrábění jak vnějších tak vnitřních drážek o šířce 1,10 mm až 4,15 mm. Jsou vhodné pro tyto skupiny materiálů: P, M, K, N, S. [8, s.19]

Na obr. 32 f) je vidět destička PENTACUT od firmy Iscar. Vyrábí se ve dvou velikostech: 24 mm a 34 mm (opsaná kružnice). Pro velikost 24 mm je šířka břitu v rozmezí 0,5 mm až 3 mm, pro velikost 34 je břit v rozmezí 1,5mm až 4 mm. Břit může být přímý, nebo šikmý na levou i pravou stranu. Pětihranný robustní základ destičky je navržen tak, aby se vždy odlomila jen vlastní část břitu a základ zůstal nepoškozen. Proto

je vždy možné využít všech pět břitů, i kdyby zbyl např. jen poslední neulomený břit. S touto destičkou je možné srážet hrany, podélně soustružit a samozřejmě čelně zapichovat a upichovat. Dokonalá rovinnost bočních ploch a dna zápichů je zajištěna velmi tuhým upnutím. Díky velmi tuhému systému upnutí a robustní destičky je možné obrábět při velmi vysokých parametrech, je vhodná pro široký rozsah materiálů a řezných podmínek se stále dobrou drsností povrchu. Destička je vyráběna s různými typy utvařečů pro různé materiály a aplikace použití. [8, s.19]

Destička VBD X4 od firmy SECO (viz obr. 32 C) kombinuje užší řeznou hranu s velkou řeznou hloubkou. Díky tomu redukuje plýtvání materiálem a je vhodná pro zapichování a kopírování malých a složitých součástí. Navíc zjednodušuje skladové hospodářství díky tomu, že jeden držák je univerzální pro všechny dostupné rozměry destičky. Řezná hrana je rozdělena do šesti velikostí, od 0,5 mm do 3 mm. Řezná hloubka je vhodná pro tyče od průměru 5,2 mm až do průměru 13 mm, ta závisí na šířce destičky. [8, s.19]



## 6. Diskuze experimentů

V této práci se zabývám vývojem opotřebení vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů při operaci upichování. Tomu však předchází několik pomocných úkonů. Nejprve proměřím výšku řezné hrany k základně kostky. Zvlášť pro každou destičku. Na základě naměřených hodnot udělám analýzu a stanovím možné úchyly upnutí.

Dále pokračuji k měření sil. Síly budu měřit v ose obrobku, ale i nad osou a pod osou o hodnotu zjištěnou v předchozím kroku. Dle dosažených výsledků z měření sil posoudím, jak velký vliv má taková nepřesnost upnutí destičky (řezná hrana vůči ose obrobku) na velikost sil.

Od firmy Iscar a Teagutec mám k dispozici destičky, které jsou v daných firmách nejprodávanější (nejběžnější). Od firmy Pramet mám navíc i experimentální destičky ve vývoji pro porovnání s běžně prodávanými.

Pro obě operace (měření sil a vývoj opotřebení) použiji odlišné materiály. Pro měření sil je to materiál 11 109, kvůli dobré lámavosti třísky a obrobitelnosti. Díky tomu můžu upichovat bez chlazení, které by mohlo poškodit měřicí zařízení od firmy Kistler, nebo zkreslit naměřené výsledky. Sledování vývoje opotřebení provedu na nejběžnějším etalonovém materiálu 12 050.

## 6.1. Použité destičky

Testujeme destičky tří různých firem.

### **VBD firmy Dormer Pramet**

1. LCMR 031602-CM - I.; 520760 - ( $f_{\min} = 0,05$ ,  $f_{\max} = 0,3$ ) Bez fazetky
2. LCMR 031602-CM - II.; 520760 - ( $f_{\min} = 0,05$ ,  $f_{\max} = 0,3$ ) Bez fazetky
3. G362-AA-U02-UP14; P523087 - S fazetkou
4. G362-AA-U02-UP15; P523087 - Bez fazetky
5. JP01

Od firmy Pramet mám k dispozici planžetu s označením XLCN 3202 N 0316, ve které testujeme 5 různých destiček. První dva zástupci jsou v běžném prodeji (liší se pouze v tom, že destička s označením I je navíc pískovaná), zbylé tři jsou novinkou ve vývoji.

### **VBD firmy Iscar**

1. DGN 3102J; IC808 - ( $f_{\min} = 0,4$ ,  $f_{\max} = 0,16$ ) Bez fazetky
2. DGN 3102C; IC808 - ( $f_{\min} = 0,1$ ,  $f_{\max} = 0,25$ ) S fazetkou

Destičky firmy Iscar se upínají do planžety s označením DGFH 32-3 a obě destičky jsou stejné, liší se pouze v utvařeči třísky.

### **VBD firmy Teagutec**

1. TDXU3E-0.3TT51100

Od firmy Teagutec mám k dispozici pouze jednu destičku, která se upíná do planžety s označením TGB 32-3.

## 6.2. Obráběný materiál

### Pro měření sil

Automatová ČSN 11 109 (DIN 11SMn30)

### Chemické složení v procentech:

C = 0,13; Mn = 0,9 až 1,5; P = 0,1; S = 0,21 až 0,32

### Mechanické vlastnosti:

Mez pevnosti v tahu  $R_m = 380 - 520$  MPa, mez kluzu  $R_e = 215$  MPa

Automatová ocel. Obsahuje do 0,2 % síry, která je vázaná pomocí zvýšeného obsahu manganu (cca 1 %). Díky tomu je ocel dobře obrobitelná se snadnou lámavostí třísky. Při obrábění velkou řeznou rychlostí si materiál zachovává kvalitní povrch.

Náš materiál má rozdílnou tvrdost z důvodu tažení. Tvrdost na obvodu je 180 HB a ve středu materiálu 130 HB. [11]

### Pro sledování vývoje opotřebení

Kalitelná, k zušlechťování, ČSN 12 050 (DIN C45)

### Chemické složení v procentech:

C = 0,5; Mn = 0,7; Si = 0,25; P = 0,04; S = 0,04; Cr = 0,25; Ni = 0,3; Cu = 0,3

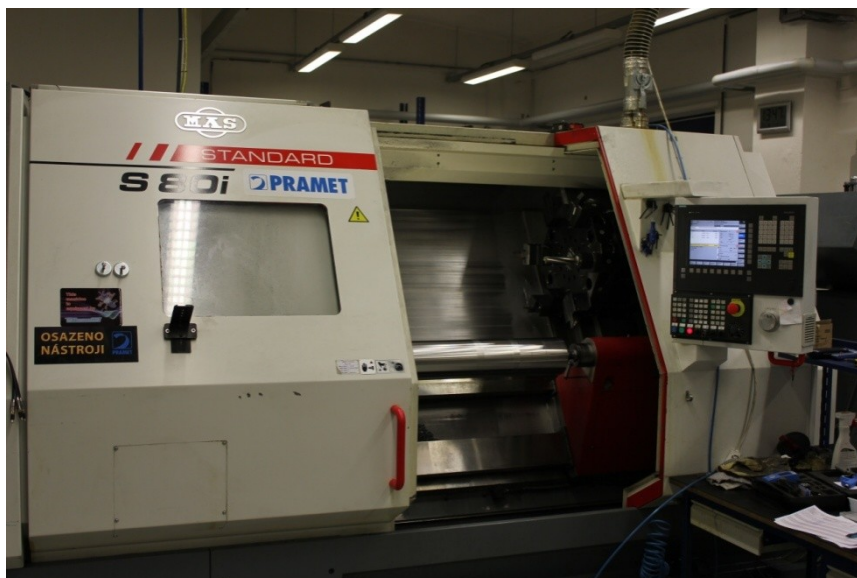
### Mechanické vlastnosti:

Mez pevnosti v tahu  $R_m = 640 - 780$  MPa, mez kluzu  $R_e = 390$  MPa

Jedná se o konstrukční nelegovanou ocel. Je vhodná k povrchovému kalení, zušlechťování a pro velké výkovky. Uklidněná ocel se využívá na hřídele turbokompresorů a těžních strojů, na větší ozubená kola, ojnice, vřetena, čepy, šrouby, různé spojovací součásti, frézovací trny a podobně. Je obtížně svařitelná. [12]

### 6.3. Zkušební CNC soustruh MAS S80i Standard

CNC soustruh MAS je přesný soustružnický stroj s vysokým výkonem určený pro obrábění tyčí, hřídelů a přírub. Je opatřen 12 polohovou revolverovou hlavou ovládanou elektricky, řízenými pohony posuvů a vřetene a přestavitelným koníkem. Řídicí systém je od firmy SIEMENS.



*Obr. 33 CNC Soustruh firmy Pramet (S80i Standard)*

#### 6.4. Experiment měření sil

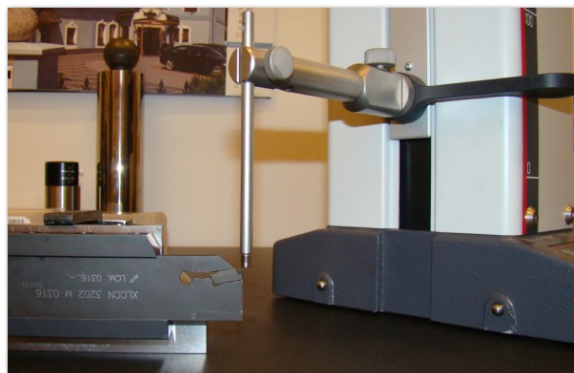
##### Měření výšky řezné hrany

Při přesném upnutí by měly nástrojové úhly řezné destičky zůstat konstantní, z toho důvodu jsem každou destičku zvlášť změřil, abych minimalizoval chybu z nepřesnosti výroby. Měřil jsem výšku řezné hrany na přesném měřicím přístroji Digmar 817 CLM, který má díky optickému přírůstkovému měřicímu systému s dvojitou čtecí hlavou vynikající přesnost a spolehlivost měření. Pro minimalizaci chyb měření, jsem redukoval počet držáku, svěráku apod. na pouze jednu tlakovou upínku, která drží kostku pevně na podkladovém stole měřicího zařízení (viz obr. 35).



Obr. 34 Měřicí přístroj Digmar 817 CLM

Výška řezné hrany oproti základně kostky se pohybovala kolem  $25^{+0,04}_{-0,01} \text{ mm}$ . (viz příloha 1). Takže výsledná tolerance 0,05 mm je pro nás relativně zanedbatelná. Avšak k tomu se musí přičíst úchyly samotného polohování stroje (revolverové hlavy) a nepřesnosti VDI-ček (držáky na upnutí kostek, nožů apod.).



Obr. 35 Uchycení kostky ke stolu

Po sečtení všech nepřesností jsem došel k hodnotě  $\pm 0,15 \text{ mm}$ , která je pro mě výchozí pro další měření sil. Lze předpokládat, že větší nepřesnost upnutí, než tato by v praktickém provozu nastat neměla.

### Změna řezných úhlů v závislosti na upichování nad osou, v ose a pod osou

Pro tento krok jsem vytvořil v excelu tabulku s grafem pro názornou ukázkou změny řezných úhlů čím více se blížíme ke středu materiálu.

Do tabulky se zadá kolik je řezná hrana nad osou a pod osou obráběného materiálu, dále jaký má řezná destička úhel hřbetu a čela.

Zadané hodnoty	Hodnota
Pod osou $h$	0,15 mm
Nad osou $h$	0,15 mm
Úhel hřbetu $\alpha$	8,0 °
Úhel čela $\gamma$	15,0 °

V další tabulce mám hodnoty průměru od 75 mm až po 0,5 mm a vedle těchto hodnot jsou vypočítané skutečné hodnoty úhlů.

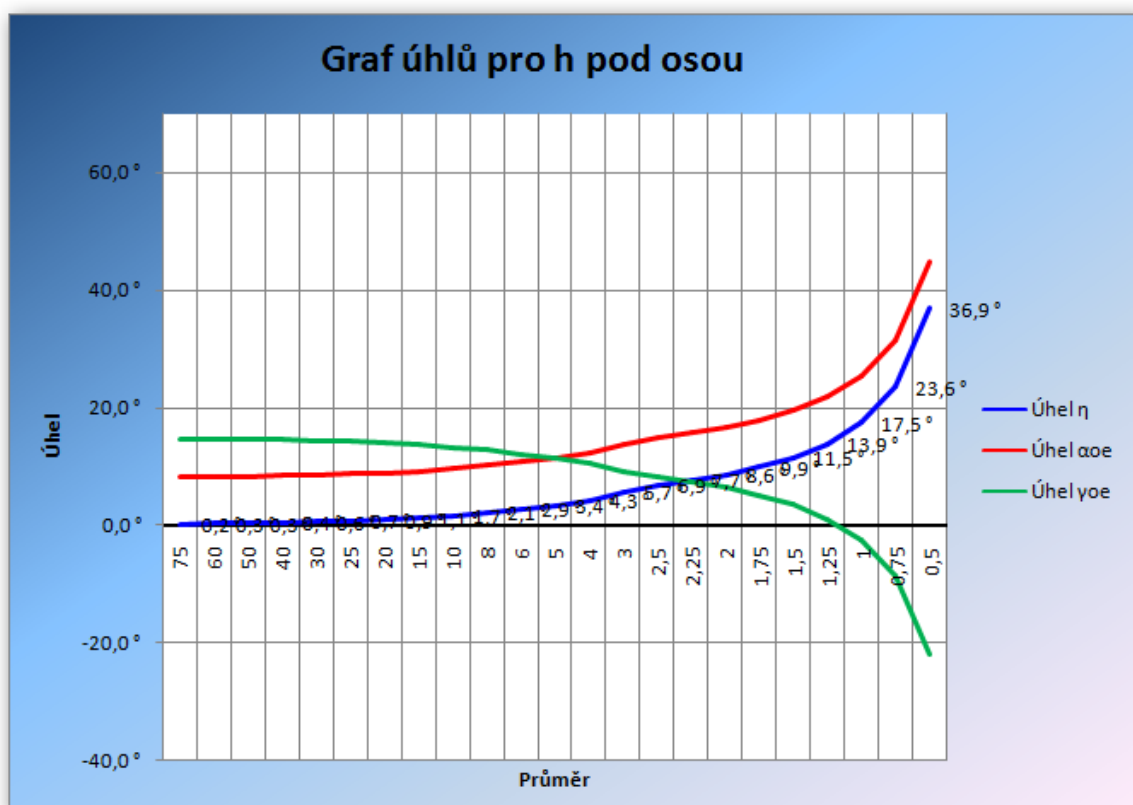
Průměr	h - Pod osou			h - Nad osou		
	Úhel $\eta$	Úhel $\alpha_{oe}$	Úhel $\gamma_{oe}$	Úhel $\eta_2$	Úhel $\alpha_{oe}$	Úhel $\gamma_{oe_2}$
75 mm	0,2 °	8,2 °	14,8 °	0,2 °	7,8 °	15,2 °
60 mm	0,3 °	8,3 °	14,7 °	0,3 °	7,7 °	15,3 °
50 mm	0,3 °	8,3 °	14,7 °	0,3 °	7,7 °	15,3 °
40 mm	0,4 °	8,4 °	14,6 °	0,4 °	7,6 °	15,4 °
30 mm	0,6 °	8,6 °	14,4 °	0,6 °	7,4 °	15,6 °
25 mm	0,7 °	8,7 °	14,3 °	0,7 °	7,3 °	15,7 °
20 mm	0,9 °	8,9 °	14,1 °	0,9 °	7,1 °	15,9 °
15 mm	1,1 °	9,1 °	13,9 °	1,1 °	6,9 °	16,1 °
10 mm	1,7 °	9,7 °	13,3 °	1,7 °	6,3 °	16,7 °
8 mm	2,1 °	10,1 °	12,9 °	2,1 °	5,9 °	17,1 °
6 mm	2,9 °	10,9 °	12,1 °	2,9 °	5,1 °	17,9 °
5 mm	3,4 °	11,4 °	11,6 °	3,4 °	4,6 °	18,4 °
4 mm	4,3 °	12,3 °	10,7 °	4,3 °	3,7 °	19,3 °
3 mm	5,7 °	13,7 °	9,3 °	5,7 °	2,3 °	20,7 °
2,50 mm	6,9 °	14,9 °	8,1 °	6,9 °	1,1 °	21,9 °
2,25 mm	7,7 °	15,7 °	7,3 °	7,7 °	0,3 °	22,7 °
2 mm	8,6 °	16,6 °	6,4 °	8,6 °	-0,6 °	23,6 °
1,75 mm	9,9 °	17,9 °	5,1 °	9,9 °	-1,9 °	24,9 °
1,50 mm	11,5 °	19,5 °	3,5 °	11,5 °	-3,5 °	26,5 °
1,25 mm	13,9 °	21,9 °	1,1 °	13,9 °	-5,9 °	28,9 °
1 mm	17,5 °	25,5 °	-2,5 °	17,5 °	-9,5 °	32,5 °
0,75 mm	23,6 °	31,6 °	-8,6 °	23,6 °	-15,6 °	38,6 °
0,50 mm	36,9 °	44,9 °	-21,9 °	36,9 °	-28,9 °	51,9 °

Tab. 1 Změny nástrojových úhlů

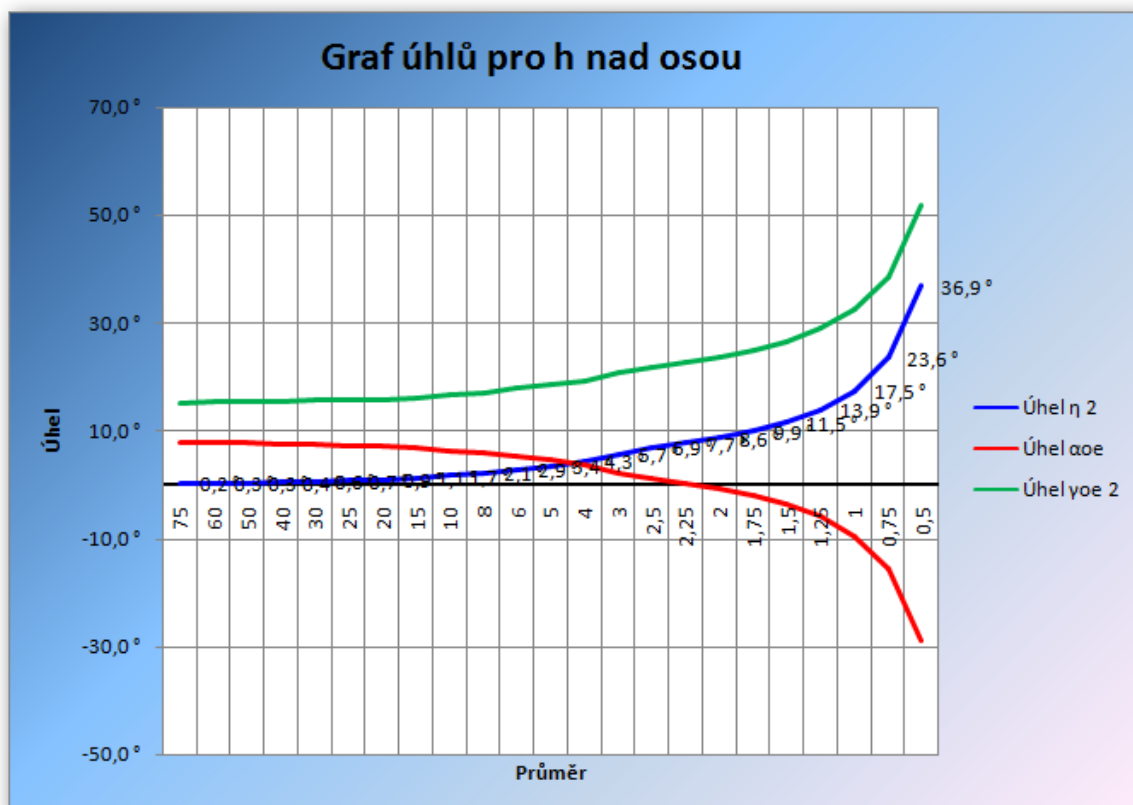
V této tabulce je názorně vidět, jak se jednotlivé úhly mění. Když je řezná hrana pod osou, úhel hřbetu roste z 8° až na 45° na průměru 0,5 mm kdežto úhel čela klesá z 15° na -22°. Tzn. že úhel hřbetu se zvětšil o 37° a úhel čela zmenšil o 37°. O stejné hodnoty se nám úhly změní i při ustanovené řezné hrany nad osu, akorát s opačným znamínkem. Dle teorie předpokládám, že s klesajícím úhlem čela by měla růst řezná síla a s klesajícím úhlem hřbetu by měla růst síla přísuvová.



Grafy pro názornou ukázkou:



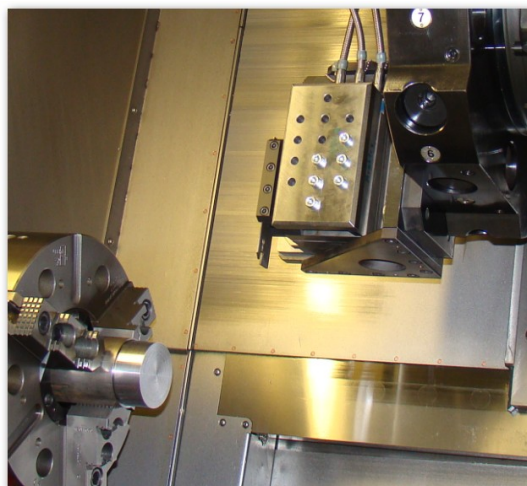
Graf 1 Změna řezných úhlů pro řeznou hranu pod osou obrobku o 0,15 mm



Graf 2 Změna řezných úhlů pro řeznou hranu nad osou obrobku o 0,15 mm

### **Zařízení na měření řezných sil při obrábění od firmy Kistler**

Velikost řezných sil jsem měřil na třísložkovém dynamometru firmy Kistler. Dynamometr (viz obr. 36) má piezoelektrické snímače měřených hodnot pro měření tří kolmých složek jedné síly. Oplývá velkou tuhostí a tím i vysokou vlastní frekvencí. Jeho velká rozlišovací schopnost umožňuje měření nejmenších dynamických změn velkých sil.

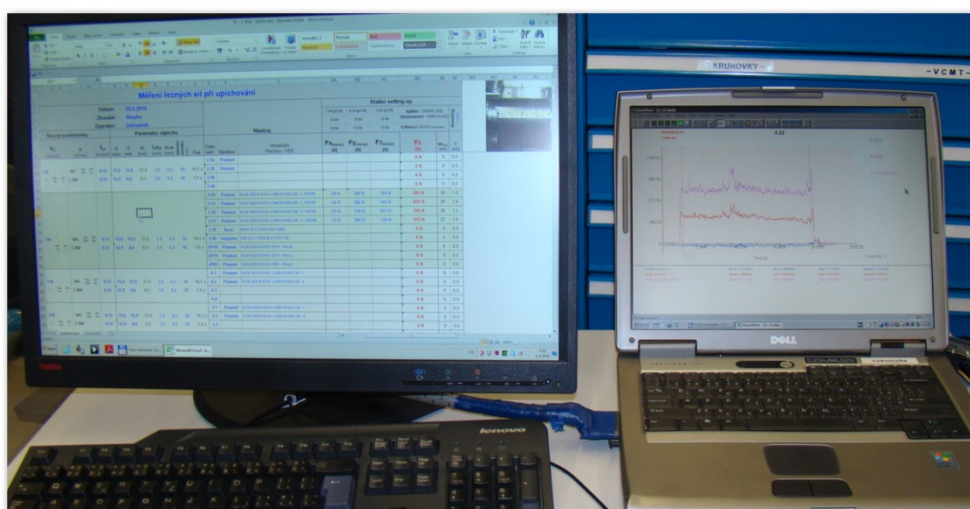


*Obr. 36 upnutý dynamometr v CNC soustruhu*

Pro každou ze třech složek síly je v dynamometru vyráběn proporcionální elektrický náboj. Tyto náboje jsou v dále zapojeném zesilovači (obr. 37) měněny na analogová napětí, která jsou dále zpracovávána a zobrazována na připojeném PC (obr. 38) se software DynoWare.



*Obr. 37 Zesilovač dynamometru*



*Obr. 38 Vlevo PC na zapisování naměřených hodnot, vpravo PC připojen k dynamometru*

### Řezné podmínky

Řezná rychlost:  $v_c = 130 \text{ m/min}$  (konstantní do průměru 18 mm)

Otáčky:  $n_{\min} = 552 \text{ ot/min}$  (na průměru 75 a dále rostou)

$n_{\max} = 2300 \text{ ot/min}$  (konstantní od průměru 18 až po 0)

Šířka záběru  $a = 3 \text{ mm}$  (šířka upichovacího nože)

Pozn.: Řezná rychlost byla zadána jako konstantní 130 m/min, ale soustruh nedokáže od průměru 18mm tuto řeznou rychlost udržet. Důvodem jsou setrvačné momenty vřetene, stroj nedokáže za tak krátký čas vyvinout dostatečné otáčky.

#### **6.4..1 Měření sil v ose obrobku**

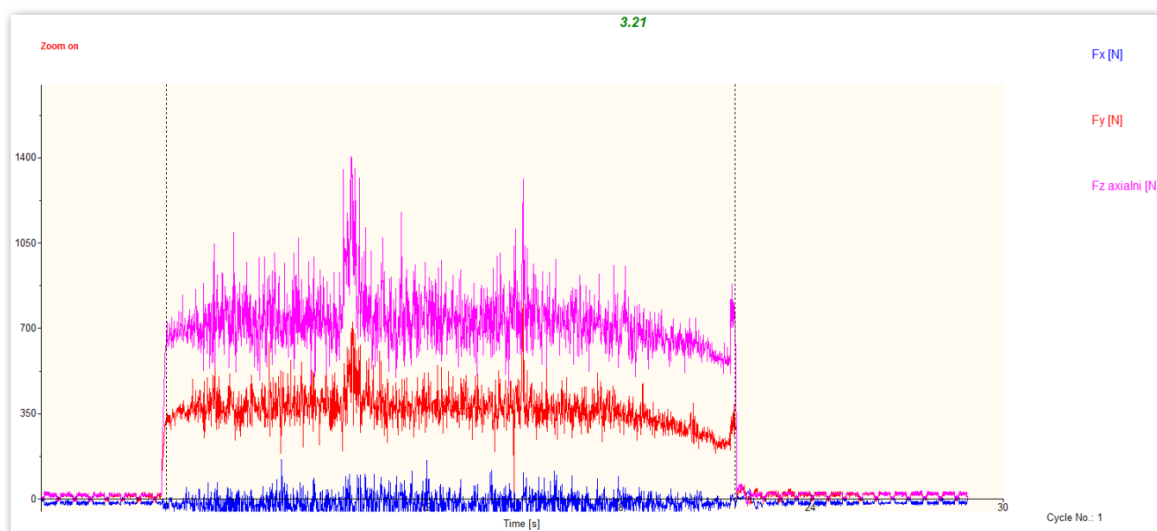
Je-li řezná hrana v ose obrobku, zůstávají řezné úhly konstantní. Naměřené hodnoty sil v ose obrobku budeme srovnávat s hodnotami sil nad i pod osou obrobku.

Měřili jsme síly všemi destičkami, tj. i konkurenci.

První měřenou je destička firmy Pramet:

LCMR 031602-CM - II.; 520760

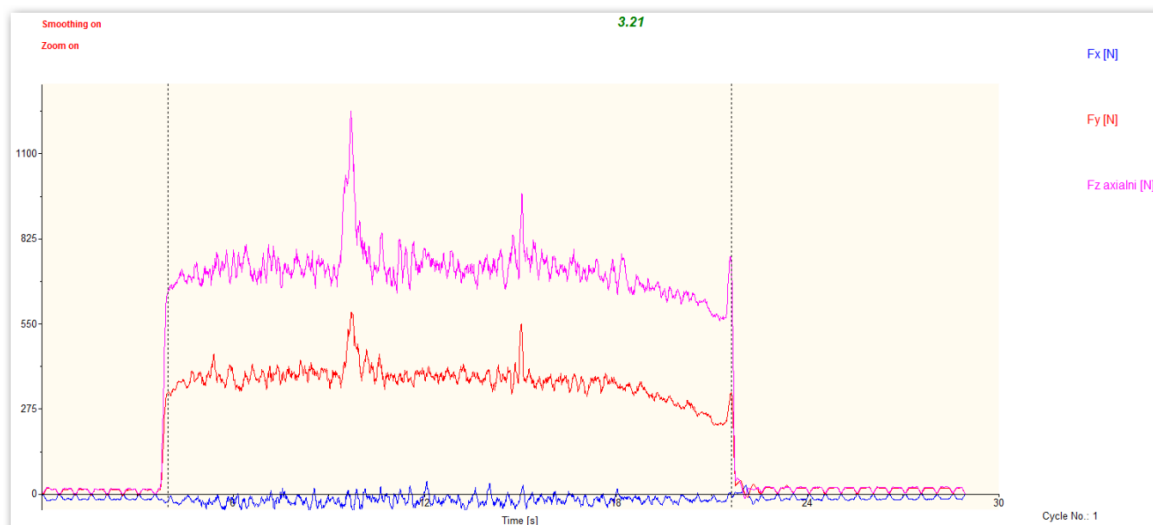
Skutečný průběh sil lze vidět na tomto grafu:



*Graf 3 Průběh sil destičky LCMR 031602-CM - II. (bez vyhlazení)*

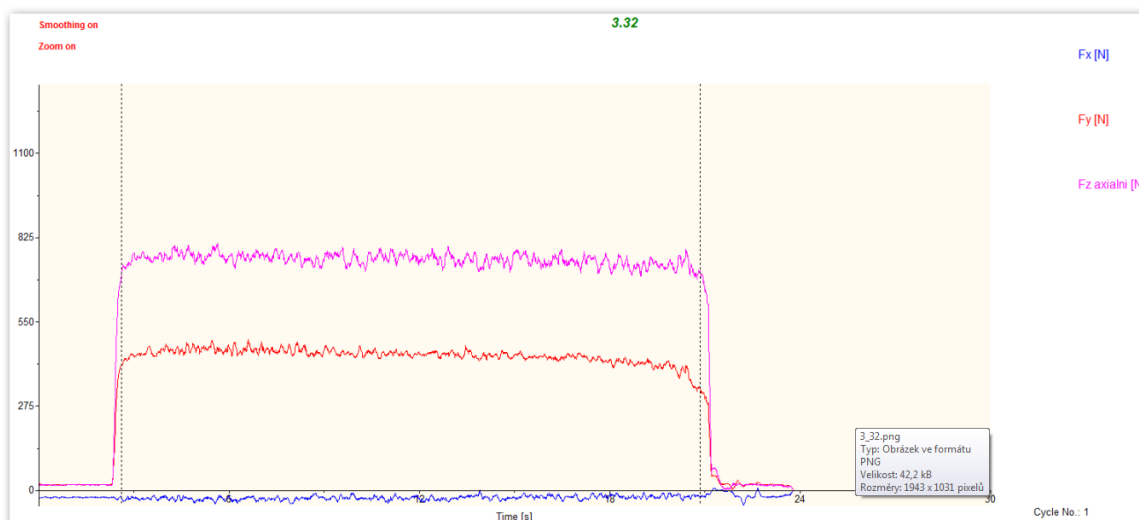
Síly jsou velmi nevyrovnané. Graf dobře znázorňuje, jak vysoké jsou špičky řezných sil.

Pro názornější zobrazení průběhu sil při upichování jsem použil funkci programu DynoWare a tou je "vyhladit". Po vyhlazení vypadá průběh síly následovně:



Graf 4 Průběh sil destičky LCMR 031602-CM - II. (s vyhlazením)

Pro srovnání s jedničkou v oboru upichování vkládám graf průběhu sil (s vyhlazením) řezné destičky od firmy Iscar s označením DGN 3102J; IC808:



Graf 5 Průběh sil destičky DGN 3102J; IC808 (s vyhlazením)

Naměřené hodnoty jsou:

Průměrné

Maximální

Číslo měř.	Výrobce	Označení Planžeta / VBD	$F_{x\text{mean}}$ [N]	$F_{y\text{mean}}$ [N]	$F_{z\text{mean}}$ [N]	$F_c$ [N]	$F_{y\text{max}}$ [N]	$F_{z\text{max}}$ [N]
3.21	Pramet	XLCN 3202 N 0316 / LCMR 031602-CM - II.; 520760	-19 N	366 N	726 N	813 N	871 N	1 405 N
3.22			-22 N	350 N	717 N	798 N	900 N	1 617 N
3.32	Iscar	DGFH 32-3 / DGN 3102C; IC808	-24 N	440 N	754 N	873 N	679 N	986 N
3.33			-27 N	445 N	757 N	879 N	660 N	957 N

Tab. 2 Naměřené síly destičky Pramet a Iscar pro srovnání

Jak si můžeme všimnout, tak destička firmy Iscar vykazuje větší průměrnou hodnotu přísmuvové i řezné síly. Avšak po porovnání grafů je zřejmé, že má Iscar daleko rovnoměrnější průběh, síly mají daleko menší rozptyl a hlavně maximální řezná síla je zhruba o 600 N menší.

Z toho vyplývá, že destička vydrží daleko déle, neboť není vystavena tak velkému dynamickému namáhání. Kvůli těmto výkyvům (z důvodu např. špatným odvodem třísky, nalepení materiálu apod.) je daleko horší kvalita obrobeneho povrchu (viz obr. 39).



Obr. 39 Vlevo povrch po obrobení destičkou Pramet, vpravo Iscar

Další grafy průběhu sil a kompletní tabulku naměřených sil jsou uvedeny v přílohách. Zde je ukázána pouze část tabulky týkající se pouze upichování v ose obrobku:

Nástroj			Kistler setting up					
			7,89 [pC/N]	8,34 [pC/N]	3,66 [pC/N]	Aplifier - 5806A (old)	Smoothing: off	
			10 kN	10 kN	10 kN	Dynamometr - 10kN 9257B (malý)		
			10 kN	10 kN	10 kN	Software 2825A Dynoware		
Číslo měř.	Výrobce	Označení Planžeta / VBD	F <sub>x</sub> mean [N]	F <sub>y</sub> mean [N]	F <sub>z</sub> mean [N]	F <sub>c</sub> [N]	F <sub>y</sub> max [N]	F <sub>z</sub> max [N]
3.10	Pramet	XLCN 3202 N 0316 / LCMR 031602-CM - I; 520760	-24 N	386 N	749 N	843 N	709 N	1 580 N
3.11			-24 N	386 N	742 N	837 N	780 N	1 465 N
3.21	Pramet	XLCN 3202 N 0316 / LCMR 031602-CM - II; 520760	-19 N	366 N	726 N	813 N	871 N	1 405 N
3.22			-22 N	350 N	717 N	798 N	900 N	1 617 N
3.30	Iscar	DGFH 32-3 / DGN 3102J; IC808	-27 N	325 N	730 N	800 N	811 N	1 190 N
3.31			-29 N	322 N	730 N	798 N	650 N	1 319 N
3.32		DGFH 32-3 / DGN 3102C; IC808	-24 N	440 N	754 N	873 N	679 N	986 N
3.33			-27 N	445 N	757 N	879 N	660 N	957 N
3.40	Taegutec	TGB 32-3 / TDXU3E-0.3TT51100	-32 N	390 N	725 N	824 N	772 N	1 319 N
3.41			-33 N	393 N	743 N	841 N	670 N	1 137 N
3.50	Pramet	XLCN 3202 N 0316 / UP14 - Honza	-20 N	386 N	696 N	796 N	631 N	915 N
3.51			-26 N	392 N	702 N	804 N	620 N	919 N
3.60	Pramet	XLCN 3202 N 0316 / UP15 - Honza	-18 N	301 N	631 N	699 N	454 N	932 N
3.70	Pramet	XLCN 3202 N 0316 / JP01 - Honza	-18 N	498 N	924 N	1 050 N	1 012 N	1 739 N

Tab. 3 Velikost sil jednotlivých destiček v ose obrobku

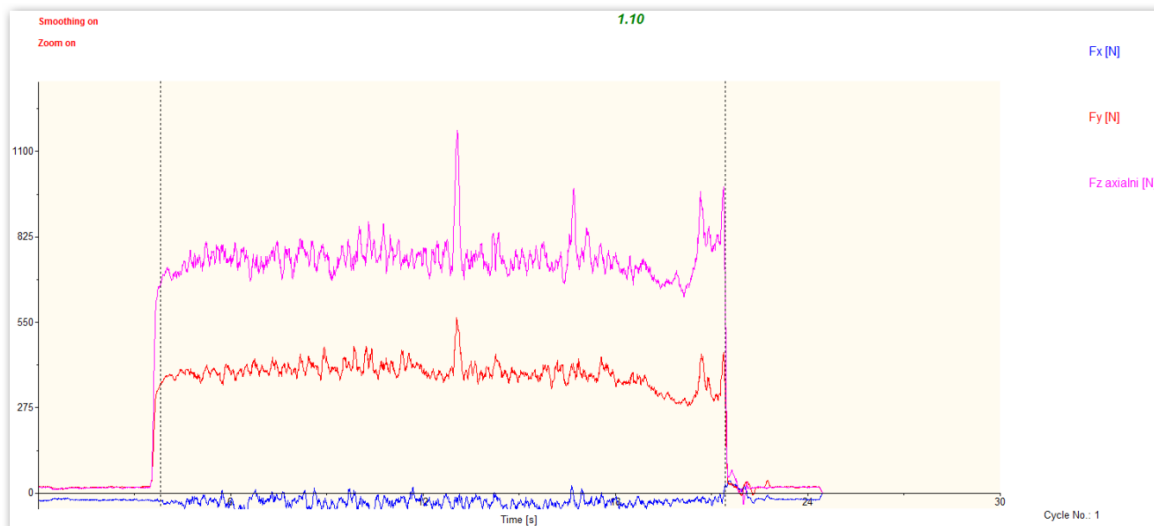
Po porovnání naměřených hodnot jsem dospěl k závěru, že destičky s fazetkou mají sice větší průměrné řezné síly než bez fazetkové, ale průběh sil je daleko rovnoměrnější a nemají tak vysoké extrémy.



#### 6.4..2 Měření sil pod osou obrobku

V tomto případě jsem zkoumal průběh sil jenom destiček firmy Pramet, a to jejich základní v běžném prodeji LCMR 031602-CM - II.; 520760 a experimentální destičku ve vývoji UP14, která měla podobně hladký průběh sil jako destičky firmy Iscar. Jak sem již zmínil výše, tak úhel hřbetu roste, čím blíže jsme k ose obrobku, naopak úhel čela klesá.

Graf průběhu sil pro destičku LCMR 031602-CM - II.; 520760 vypadá následovně:



Graf 6 Průběh sil destičky LCMR 031602-CM - II pod osou (s vyhlazením)

V porovnání s grafem průběhu sil v ose obrobku zde není žádný výraznější rozdíl, průměrné síly vzrostly přibližně o 30 N, což je pro nás zanedbatelné a síly maximální jsou ještě nižší než u upichování v ose. Výkyvy sil jsou nejspíš způsobené špatným odvodem třísky a v závěrečné části to vypadá na dřívější tvorbu nárůstku než v prvním případě.

Naměřené hodnoty jsou:

Průměrné

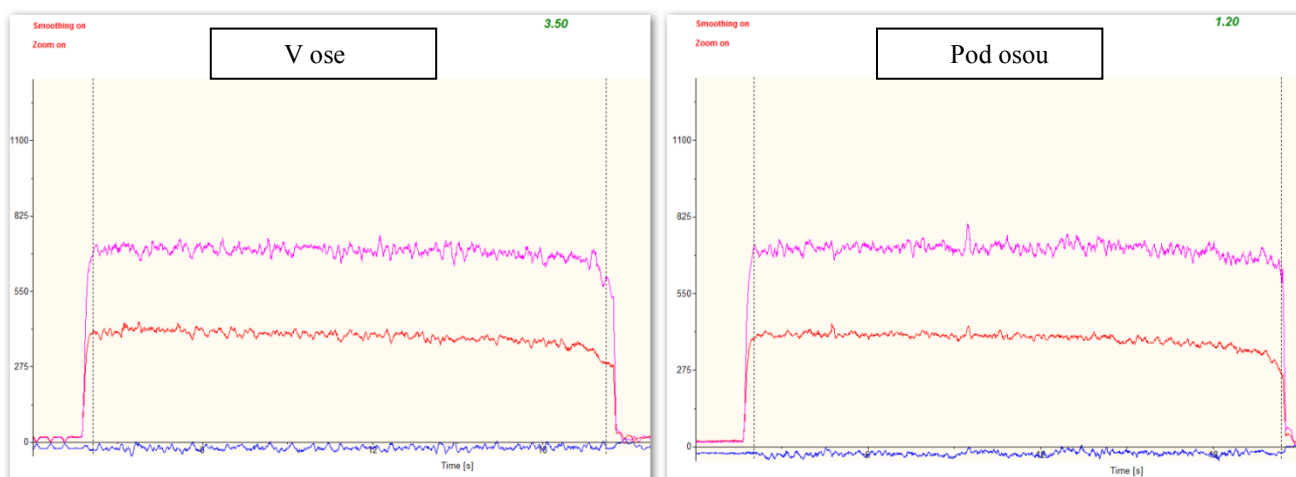
Maximální

Číslo měř.	Výrobce	Označení Planžeta / VBD	$F_{x\text{mean}}$ [N]	$F_{y\text{mean}}$ [N]	$F_{z\text{mean}}$ [N]	$F_c$ [N]	$F_{y\text{max}}$ [N]	$F_{z\text{max}}$ [N]
1.10	Pramet	XLCN 3202 N 0316 / LCMR 031602-CM - II.; 520760	-29 N	385 N	755 N	848 N	837 N	1 527 N
1.11			-26 N	378 N	745 N	836 N	705 N	1 353 N

Tab. 4 Naměřené síly destičky LCMR 031602-CM - II pod osou obrobku



Grafy průběhu sil destičky G362-AA-U02-UP14; P523087 jak v ose, tak pod osou:



Graf 7 Průběh sil destičky UP14. Vlevo v ose, vpravo pod osou (s vyhlazením)

Na první pohled je zřejmé, že rozdíly v průběhu i velikosti sil jsou v tomto případě zanedbatelné. Z toho důvodu si trůufám tvrdit, že upnutý nůž 0,15 mm pod středem obrobku nemá na velikost řezných sil žádný vliv.

Naměřené hodnoty jsou:

Průměrné

Maximální

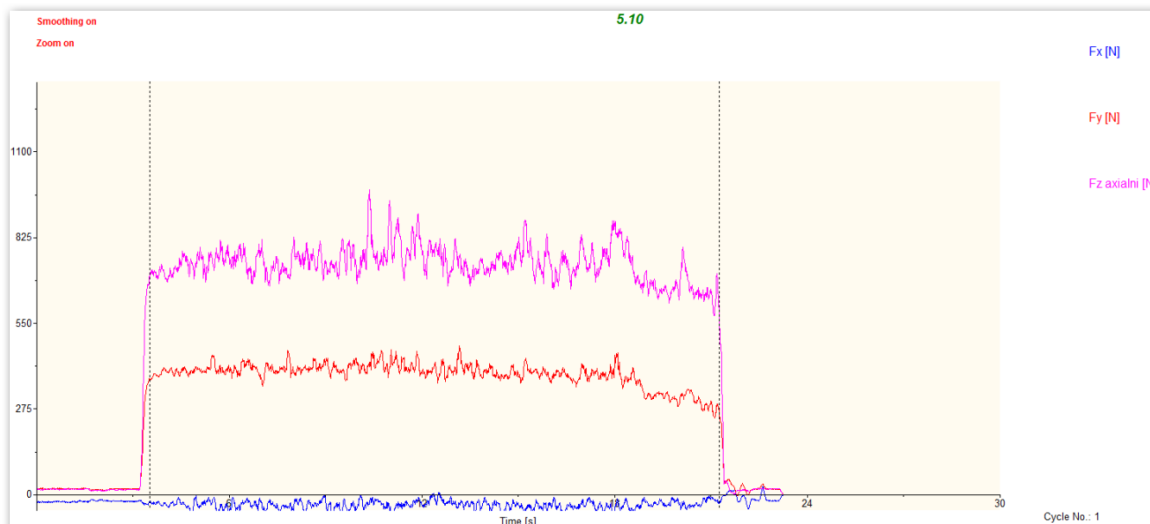
Číslo měř.	Výrobce	Označení Planžeta / VBD	$F_{x\text{mean}}$ [N]	$F_{y\text{mean}}$ [N]	$F_{z\text{mean}}$ [N]	$F_c$ [N]	$F_{y\text{max}}$ [N]	$F_{z\text{max}}$ [N]
1.20	Pramet	XLCN 3202 N 0316 / UP14 - Honza	-24 N	389 N	710 N	810 N	692 N	989 N
1.21			-26 N	390 N	708 N	809 N	543 N	910 N

Tab. 5 Naměřené síly destičky G362-AA-U02-UP14; P523087 pod osou obrobku

### 6.4.3 Měření sil nad osou obrobku

Byly použity stejné destičky jako v případě upichování pod osou obrobku: LCMR 031602-CM - II a destička ve vývoji G362-AA-U02-UP14; P523087. Jediný rozdíl je, že měříme průběh sil nad osou obrobku o 0,15 mm, tzn., čím více se blížíme ke středu obrobku, tím více se zmenšuje úhel hřbetu a úhel čela roste.

Graf průběhu sil pro destičku LCMR 031602-CM - II.; 520760 vypadá následovně:



Graf 8 Průběh sil destičky LCMR 031602-CM - II nad osou (s vyhlazením)

Ani v tomto případě není žádný větší nárůst sil oproti upichování v ose. V průměru jsou síly opět o 30 N větší což je zanedbatelné, ale maximální hodnota řezné síly Fz vyskočila až na 1752 N. Nemyslím si že to je vlivem upichování nad osou, ale spíše náhodným vlivem jako je nalepení třísky, nebo jejím špatným odvodem (zaseknutí).

Naměřené hodnoty jsou:

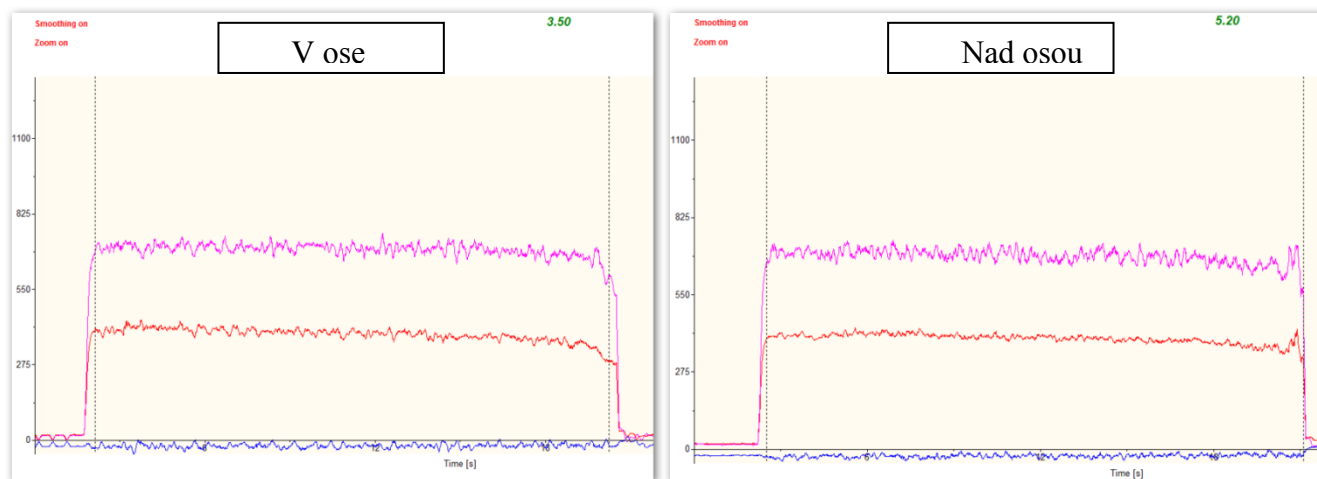
Průměrné

Maximální

Číslo měř.	Výrobce	Označení Planžeta / VBD	$F_{x\text{mean}}$ [N]	$F_{y\text{mean}}$ [N]	$F_{z\text{mean}}$ [N]	$F_c$ [N]	$F_{y\text{max}}$ [N]	$F_{z\text{max}}$ [N]
5.10	Pramet	XLCN 3202 N 0316 / LCMR 031602-CM - II.; 520760	-33 N	388 N	743 N	839 N	836 N	1 752 N
5.11			-29 N	385 N	734 N	829 N	949 N	1 268 N

Tab. 6 Naměřené síly destičky LCMR 031602-CM - II nad osou obrobku

Grafy průběhu sil destičky G362-AA-U02-UP14; P523087 nad osou obrobku:



Graf 9 Průběh sil destičky UP14. Vlevo v ose, vpravo nad osou (s vyhlazením)

Ani zde se žádná výrazná změna nekonala oproti upichování v ose a pod osou.

Naměřené hodnoty jsou:

Průměrné

Maximální

Číslo měř.	Výrobce	Označení Planžeta / VBD	$F_{x\text{mean}}$ [N]	$F_{y\text{mean}}$ [N]	$F_{z\text{mean}}$ [N]	$F_c$ [N]	$F_{y\text{max}}$ [N]	$F_{z\text{max}}$ [N]
5.20	Pramet	XLCN 3202 N 0316 / UP14 - Honza	-24 N	384 N	687 N	787 N	531 N	944 N
5.21			-19 N	395 N	708 N	811 N	586 N	1 089 N

Tab. 7 Naměřené síly destičky G362-AA-U02-UP14; P523087 nad osou obrobku

Stejně jako v případě pod osou jsou rozdíly průběhu i velikosti sil zanedbatelné. Z toho důvodu si troufám tvrdit, že upnutý nůž 0,15 mm nad středem obrobku nemá na velikost řezných sil žádný vliv.

## 6.5. Experiment sledování vývoje opotřebení

### Řezné podmínky

Řezná rychlost:  $v_c = 180 \text{ m/min}$  (konstantní do průměru 25 mm)

Otáčky:  $n_{\min} = 819 \text{ ot/min}$  (na průměru 80)

$n_{\max} = 2300 \text{ ot/min}$  (konstantní od průměru 25 až po 0)

Posuv na ot.  $f_{\text{ot}} = 0,14 \text{ mm/ot}$

Šířka záběru  $a = 3 \text{ mm}$  (šířka upichovacího nože)

Dle dosažených výsledků z předchozího experimentu a časového důvodu se po diskuzi s pracovníky Prametu rozhodlo provést zkoušku trvanlivosti pouze při upichování v ose obrobku. Důvodem je, že měření sil neprokázalo žádnou změnu sil při upnutí břitu nad nebo pod středem obrobku. Měření trvanlivosti se dělalo pro každou destičku dvakrát z důvodu statistiky.

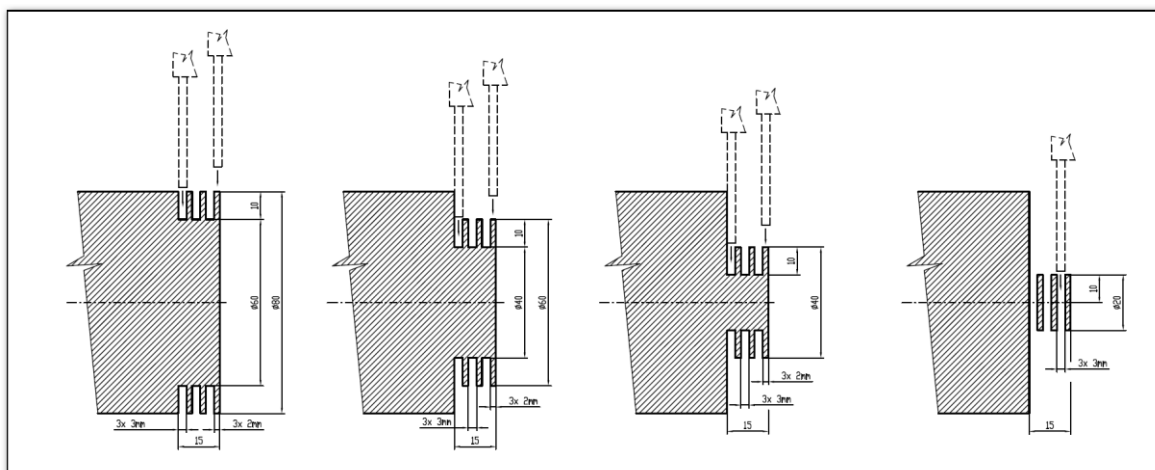
### Použité destičky pro upichování

Výrobce	Destička	Utvařeč	Jakost	Substrát	Povlak	Vzorek
<b>Pramet</b>	<i>LCMR 031602</i>	<i>CM</i>	<i>T8330</i>	<i>087</i>	<i>P523</i>	<i>A1, A2</i>
<b>Pramet</b>	<i>G362-AA-U02</i>	<i>UP14</i>	<i>T8330</i>	<i>087</i>	<i>P523</i>	<i>B1, B2</i>
<b>Iscar</b>	<i>DGN 3102</i>	<i>J</i>	<i>IC808</i>	---	---	<i>C1, C2</i>
<b>Iscar</b>	<i>DGN 3102</i>	<i>C</i>	<i>IC808</i>	---	---	<i>D1, D2</i>

Tab. 8 Seznam použitých destiček na sledování vývoje opotřebení

### 6.5.1 Sledování vývoje opotřebení při upichování do nuly (Protokol 1486)

Z ekonomického hlediska jsem navrhl schéma upichování, které vypadá následovně:



Obr. 40 Schéma postupu upichování (jeden cyklus)

V programu Excel jsem spočítal teoretický strojní čas jednoho cyklu, opotřebení destiček však zkoumáme až po dvou cyklech. Tabulka vypadá následovně:

Způsob obrábění		Řezné podmínky					Parametry zápichu								Čas celkem	
		Konst. otáčky	V <sub>c</sub> [m/min]	n [ot/min]	f <sub>ot</sub> [mm/ot]	f <sub>min</sub> [mm/min]	D <sub>max</sub>	D <sub>stř.</sub>	D <sub>min</sub>	Hl. [mm]	Šířka [mm]	Krok [mm]	Vyložení [mm]	Čas		
1.	Upichování kroužků do předvrtané díry	N	180	819 Max 955 Min 716	0,14	115	80,0	70,0	60,0	10,0	3,0	100	5,2 s	6 x	0,5 min	
2.	Upichování kroužků do předvrtané díry	N	180	1 146 Max 1 432 Min 955	0,14	160	60,0	50,0	40,0	10,0	3,0	100	3,7 s	6 x	0,4 min	
3	Upichování kroužků do předvrtané díry	N	145	1 533 Max 2 300 Min 1 150	0,14	215	40,0	30,0	20,0	10,0	3,0	100	2,8 s	6 x	0,3 min	
4	Upichování kroužků do předvrtané díry	A	73 Max 145 Min 1	2 300	0,14	322	20,0	10,1	0,1	10,0	3,0	100	1,9 s	3 x	0,1 min	
														Celkový čas cyklu	1,270 min	1 min 16 sec
														Počet cyklu		2 min 32 sec
														2 x	2,54 min	

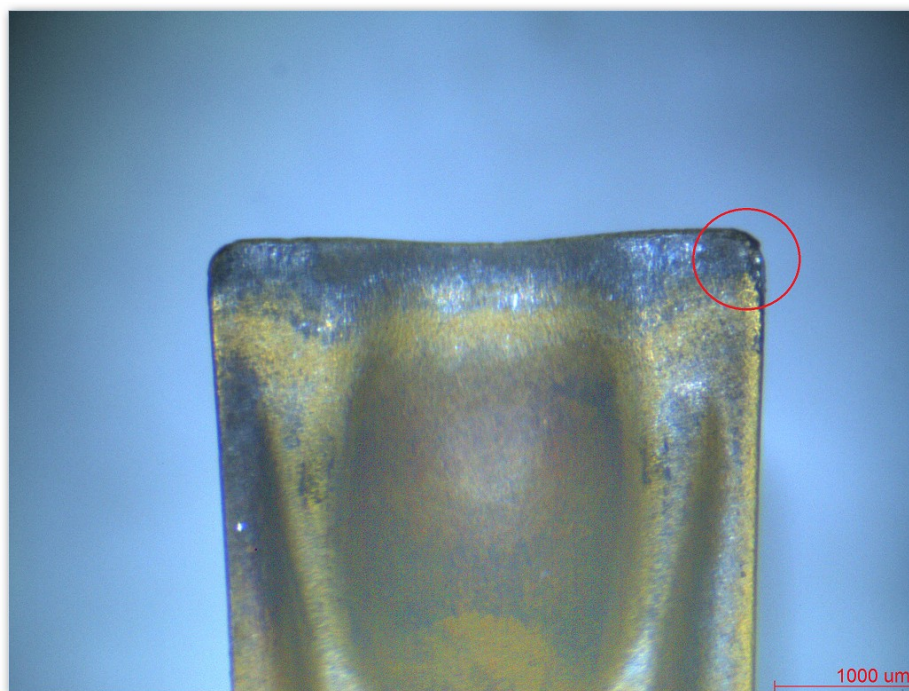
Tab. 9 Výpočet času jednotlivých operací a celého cyklu

Interval měření opotřebení je dvě a půl minuty čistého obrábění.

<i>Pramet</i>	<i>LCMR 031602</i>	<i>CM</i>	<i>T8330</i>	<i>087</i>	<i>P523</i>	<i>A1, A2</i>
---------------	--------------------	-----------	--------------	------------	-------------	---------------

Tato destička ze začátku špatně utváří. Začíná utvářet až hlouběji v materiálu, zhruba po 10 mm. První testovaná nám vydržela cca 12,7 minuty. Po této době se objevilo malé vyštípnutí na pravém rohu (obr. 41) a porušení vedlejšího břítu.

Druhá destička nevydržela ani polovinu času co první, během třetího intervalu přestává utvářet a je vyštípnutá na špičce, nejspíše vlivem nalepení materiálu (nárůstek) a jeho následného odtržení. Mezi vzorky je velký rozptyl.



Obr. 41 Destička A1 po 12,7 minutě

**Opotřebení se vyvíjelo následovně:**

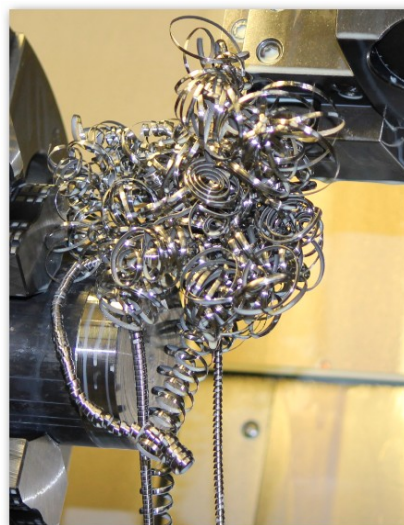
Výrobce	Destička	Utvařec	Jakost	Substrát	Povlak	Vzorek	Kritérium	Časové rozvržení [min]							
								1. čas	2. čas	3. čas	4. čas	5. čas	6. čas	7. čas	8. čas
								2,5	5,1	7,6	10,2	12,7	15,2	17,8	20,3
PRAMET	LCMR 031602	CM	T8330	087	P523	A1	VBb mm	0,049	0,053	0,074	0,079	0,088			
							VBc mm								
							-								
						A2	VB mm	0,041	0,048						
							VBc mm								
							-								

Tab. 10 Vývoj opotřebení destičky Pramet LCMR 031602 CM

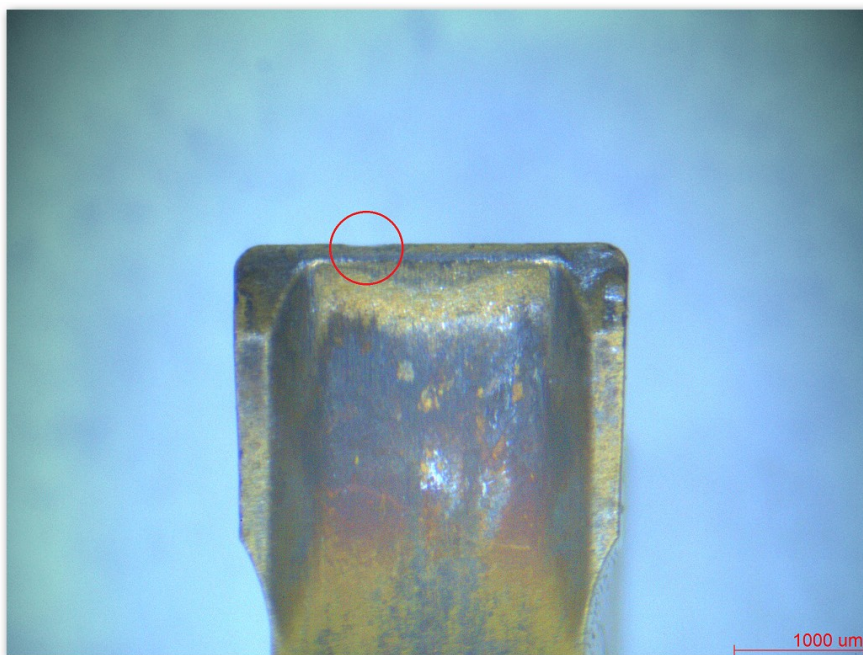


<i>Pramet</i>	<i>G362-AA-U02</i>	<i>UP14</i>	<i>T8330</i>	<i>087</i>	<i>P523</i>	<i>B1, B2</i>
---------------	--------------------	-------------	--------------	------------	-------------	---------------

Dle výsledků měření sil jsme předpokládali, že si povede líp než její předchůdce. První testovaná destička (B1) neutváří a špona se namotává na stroj (obr. 42). Již v čase 6,4 minut je patrné mechanické poškození bříty (obr. 43).



*Obr. 42 Namotaná špona. Chuchvalec*



*Obr. 43 Destička B1 po 5 minutě*

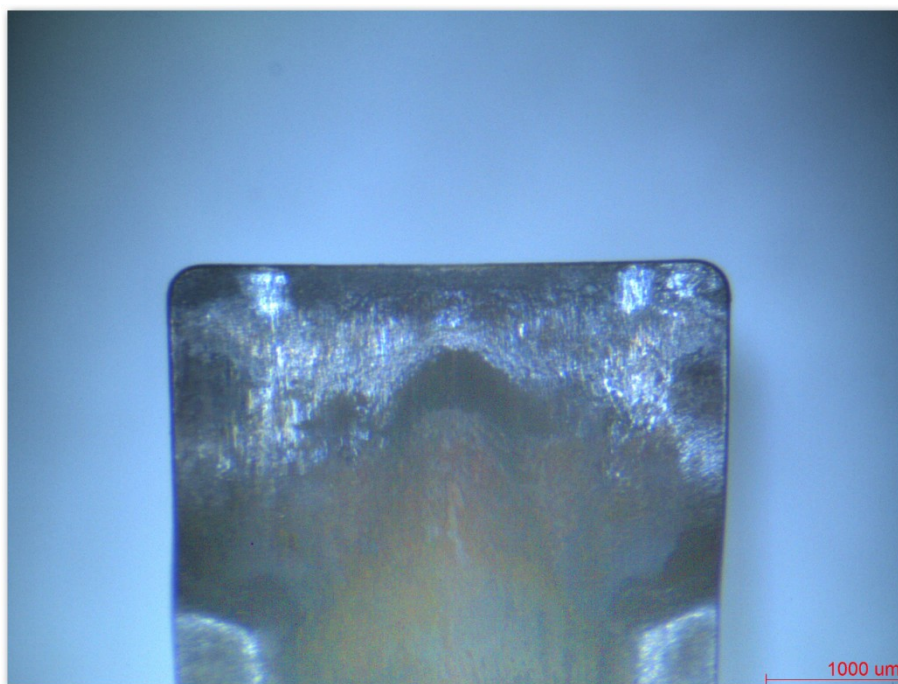
**Opotřebení se vyvíjelo následovně:**

Výrobce	Destička	Utvařec	Jakost	Substrát	Povlak	Vzorek	Kritérium	Časové rozvržení [min]							
								1. čas	2. čas	3. čas	4. čas	5. čas	6. čas	7. čas	8. čas
								2,5	5,1	7,6	10,2	12,7	15,2	17,8	20,3
PRAMET	G362-AA-U02-P14	P14	T8330	087	P523	B1	VBb mm	0,067	0,076						
							VBc mm								
							-								
						B2	VB mm	0,069							
							VBc mm								
							-								

*Tab. 11 Vývoj opotřebení destičky Pramet G362-AA-U02 P14*

<i>Iscar</i>	<i>DGN 3102</i>	<i>J</i>	<i>IC808</i>	<i>---</i>	<i>---</i>	<i>C1, C2</i>
--------------	-----------------	----------	--------------	------------	------------	---------------

Iscar splnil naše očekávání a dopadl v experimentu rozhodně nejlépe. Obě destičky dobře utvářely, měly tichý chod, projevilo se na nich pouze povrchové opotřebení břitu a byly schopné pokračovat dál. My jsme však experiment ukončili dříve z časového důvodu.



Obr. 44 Destička C1 po 12,7 minutě

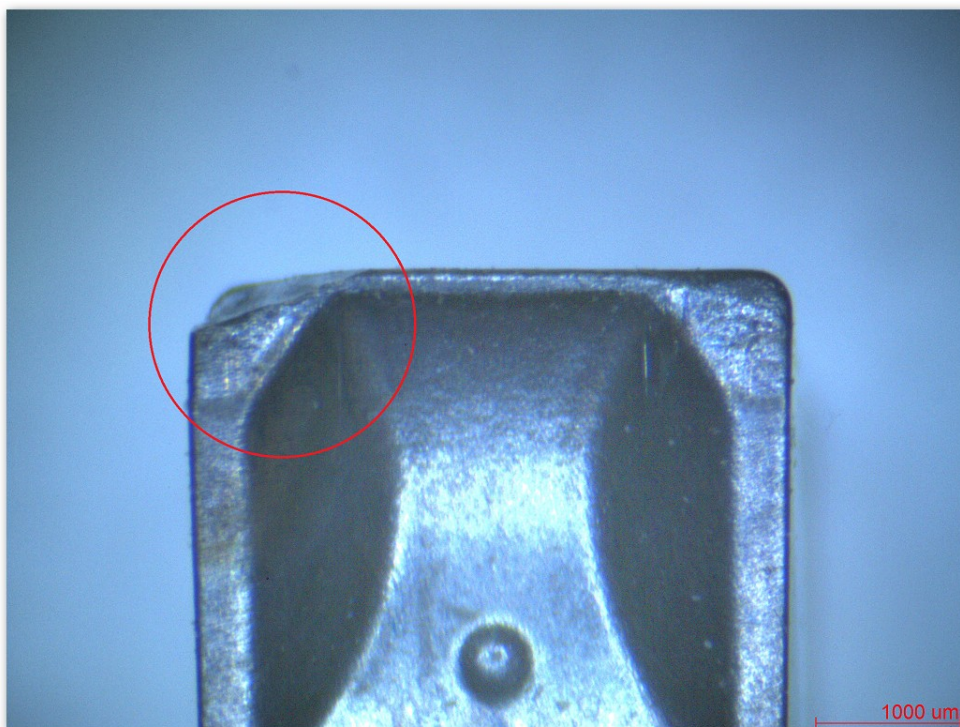
**Opotřebení se vyvíjelo následovně:**

Výrobce	Destička	Utvařec	Jakost	Substrát	Povlak	Vzorek	Kritérium	Časové rozvržení [min]							
								1. čas	2. čas	3. čas	4. čas	5. čas	6. čas	7. čas	8. čas
								2,5	5,1	7,6	10,2	12,7	15,2	17,8	20,3
Iscar	DGN 3102J	J	IC808			C1	VBb mm	0,039	0,048	0,049	0,053	0,080			
							VBc mm								
						C2	VBb mm	0,040	0,045	0,046	0,049	0,087			
							VBc mm								

Tab. 12 Vývoj opotřebení destičky Iscar DGN 3102 J

<i>Iscar</i>	<i>DGN 3102</i>	<i>C</i>	<i>IC808</i>	<i>---</i>	<i>---</i>	<i>D1, D2</i>
--------------	-----------------	----------	--------------	------------	------------	---------------

Stejná destička od Iscaru jako minulá, akorát s rozdílným utvařečem. Vedla si daleko hůř, na první destičce (D1) se po 9 minutě odštípl levý roh destičky (obr. 45), nejspíše vlivem nalepení materiálu a jeho následnému odtržení. Druhá destička (D2) přestala ke konci třetího času (kolem 7 minuty) utvářet.



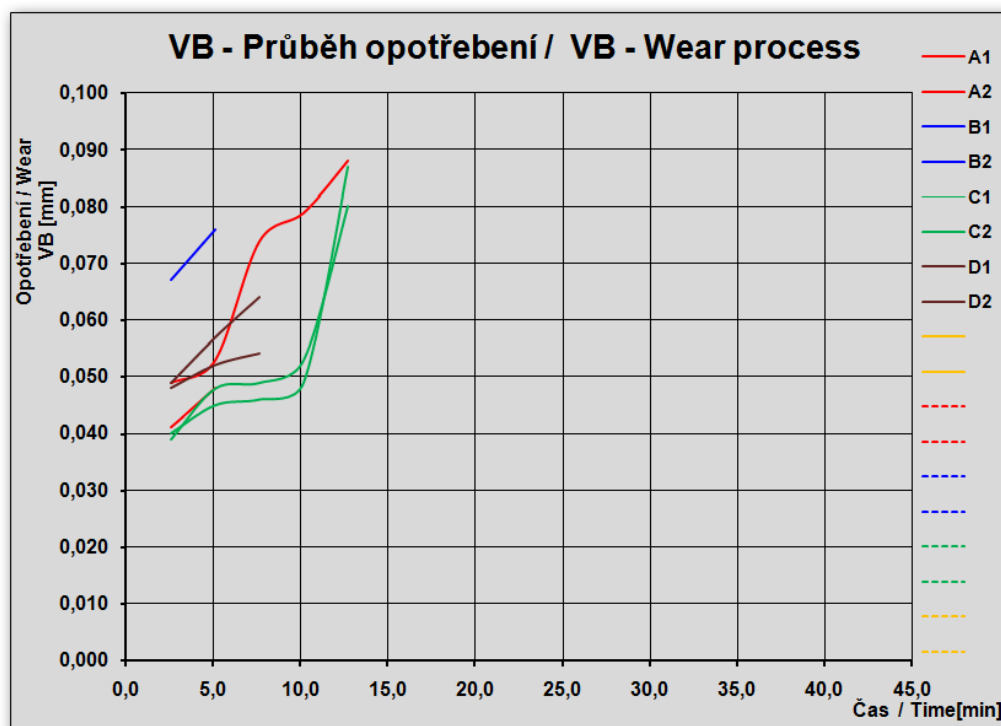
*Obr. 44 Destička D1 po 9 minutě*

**Opořebení se vyvíjelo následovně:**

Výrobce	Destička	Utvařeč	Jakost	Substrát	Povlak	Vzorek	Kritérium	Časové rozvržení [min]							
								1. čas	2. čas	3. čas	4. čas	5. čas	6. čas	7. čas	8. čas
								2,5	5,1	7,6	10,2	12,7	15,2	17,8	20,3
Iscar	DGN 3102C	C	IC808			D1	VBb mm	0,048	0,052	0,054					
							VBc mm								
							-	-							
						D2	VB mm	0,049	0,057	0,064					
							VBc mm								
							-	-							

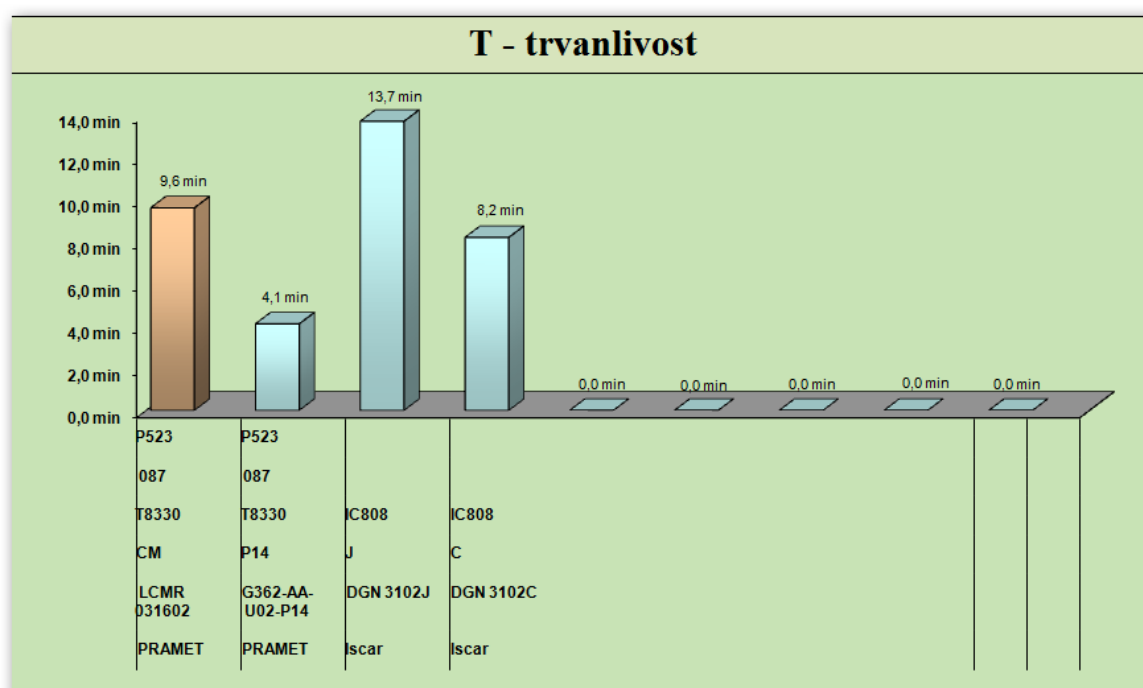
*Tab. 13 Vývoj opořebení destičky Iscar DGN 3102 C*

### Průběh opotřebení



Graf 10 Průběh opotřebení destiček při upichování do nuly

### Trvanlivost destiček



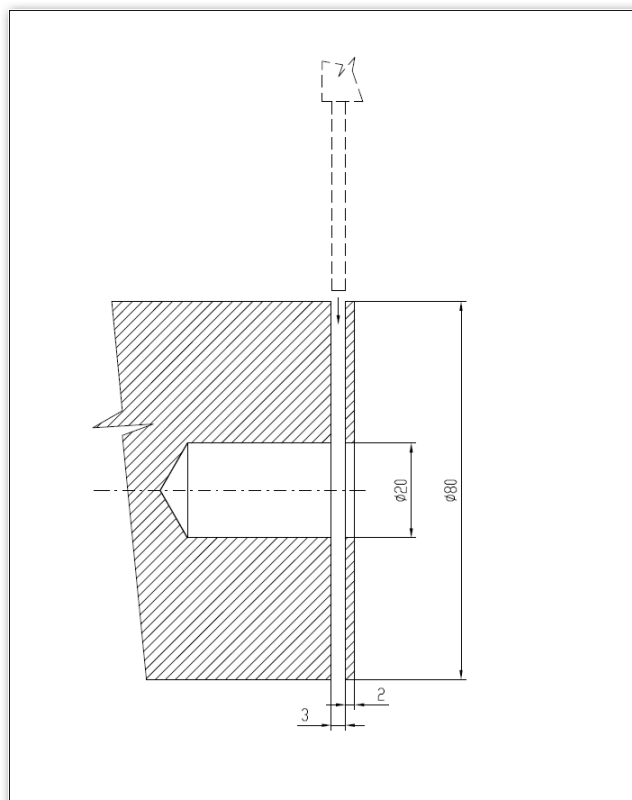
Graf 11 Trvanlivost destiček při upichování do nuly

Iscar vyšel v experimentech lépe v každém ohledu. Zkouška se jela do nuly, tzn., jelo se i v nárůstkové oblasti, kde mohlo docházet k nalepování materiálu a následnému vyštípnutí hrany.



### 6.5..2 Sledování vývoje opotřebení při upichování s předvrtanou dírou (Protokol 1488)

Pro vyloučení vlivu nárůstkové oblasti jsem se rozhodl některé destičky otestovat ještě jednou, ale do materiálu s předvrtanou dírou. Díky tomu se vyhneme oblasti, kde se řezná rychlost blíží k nule. Předvrtaná díra je o průměru 20 mm, to znamená, že řezná rychlost bude od průměru 78 mm až po 25 mm stále konstantní. Upichovat budeme kroužky o tloušťce 2 mm, schéma vypadá následovně:



Obr. 45 Schéma upichování s dírou

Opět jsem v Excelu spočítal čas jedné upichovací operace. Měřit opotřebení budu po 3,5 minutě, to znamená po 20 zápichách.

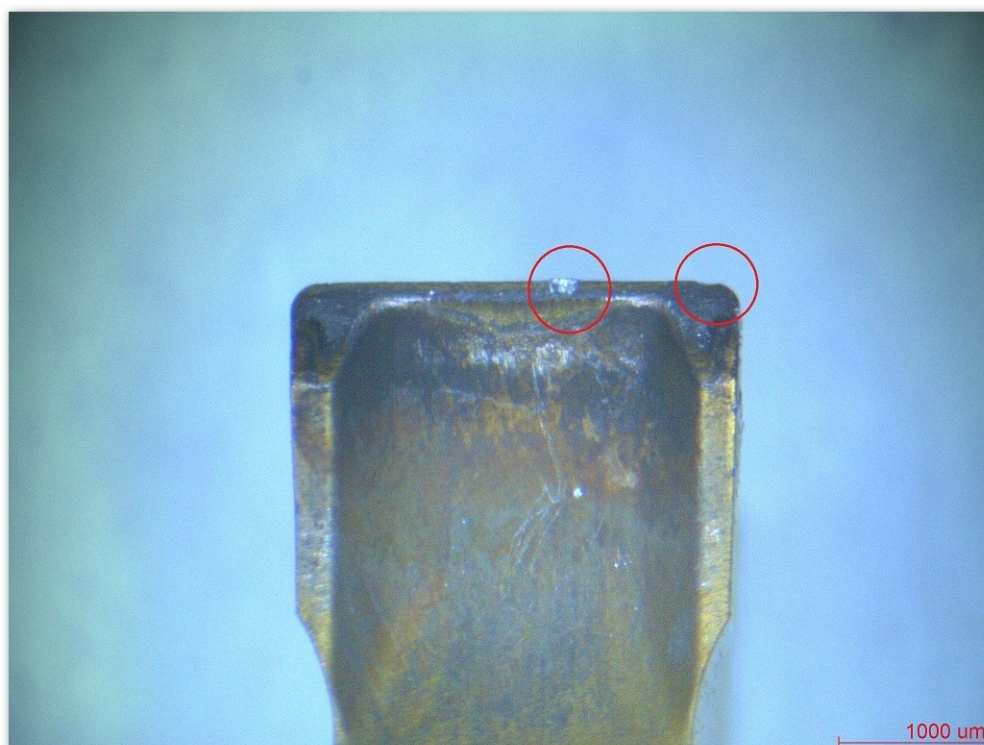
Způsob obrábění		Nástroj	Řezné podmínky					Parametry zápihu							Vyložení obrobku	Čas celkem
			Konst. otáčky	V <sub>c</sub> [m/min]	n [ot/min]	f <sub>ot</sub> [mm/ot]	f <sub>min</sub> [mm/min]	D <sub>max</sub>	D <sub>min</sub>	HL [mm]	Šířka [mm]	Krok [mm]	Vyložení nože [mm]	Čas		
1.	Upichování kroužků do předvrtané díry	Planžeta:												20 x		3,5 min
		Destička:	N	180	1 169 Max 2 300 Min 735	0,14	164	78,0	20,0	29,0	3,0		42	10,6 s		

Tab. 14 Výpočet času zápichu

Pro tuto zkoušku už jsem použil pouze dva typy destičky a to jednu firmy Pramet G362-AA-U02 P14 a druhou Iscar DGN 3102 C z ekonomického důvodu šetření materiálu a času.

<b>Pramet</b>	<b>G362-AA-U02</b>	<b>P14</b>	<b>T8330</b>	<b>087</b>	<b>P523</b>	<b>B (1,2)</b>
---------------	--------------------	------------	--------------	------------	-------------	----------------

Destička firmy Pramet ze začátku špatně utváří. V prvním kole se špona namotávala na stroj (tvoří chuchvalec). Začíná utvářet po zaříznutí hlouběji do materiálu. Ke konci zkoušky po 31 minutě má drobné vyštípnutí na řezné hraně (obr. 46), ale destička by mohla pokračovat dál. Zkouška skončena z časového důvodu.



Obr. 46 Destička B1 po 31,5 minutě

**Opotřebení se vyvíjelo následovně:**

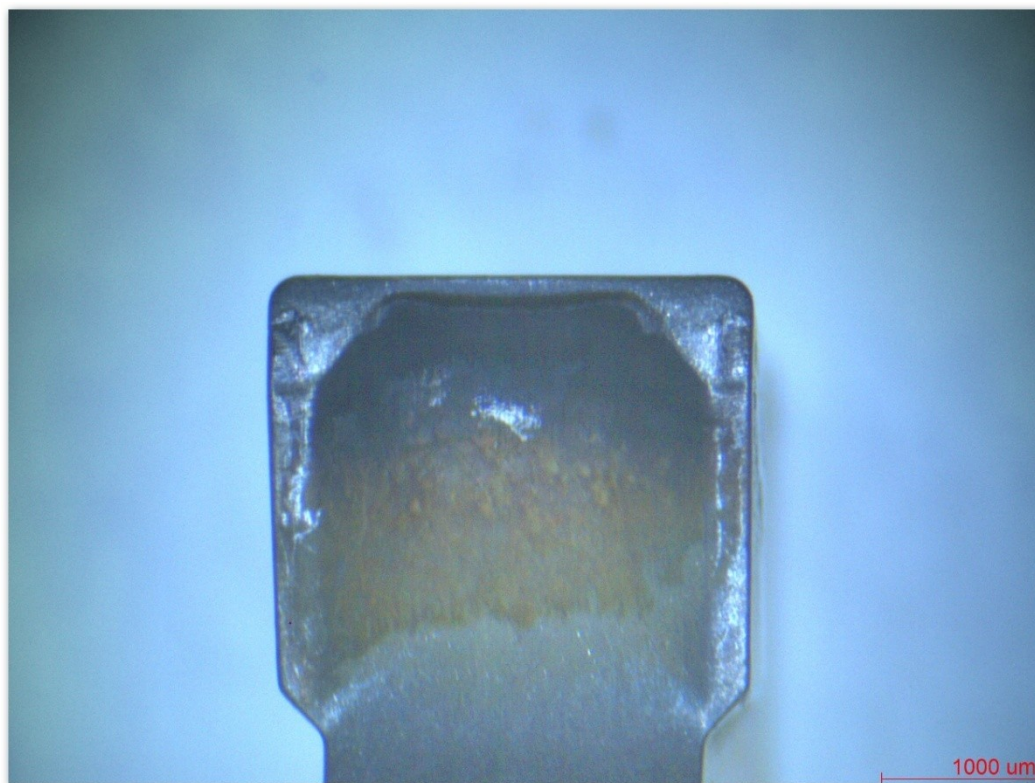
Výrobce	Destička	Utvařec	Jakost	Substrát	Povlak	Vzorek	Kritérium	Časové rozvržení [min]								
								1. čas	2. čas	3. čas	4. čas	5. čas	6. čas	7. čas	8. čas	9. čas
								3,5	7,0	10,5	14,0	17,5	21,0	24,5	28,0	31,5
PRAMET	G362-AA-U02	P14		087	P523	B1	VBb mm	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,062	0,063	0,066	0,069
							VBc mm									0,127
							-									
						B2	VB mm	0,064	0,066	0,068	0,068	0,069	0,074			
							VBc mm									
							-									

Tab. 15 Vývoj opotřebení destičky Pramet G362-AA-U02 P14



<i>Iscar</i>	<i>DGN 3102</i>	<i>C</i>	<i>IC808</i>	<i>---</i>	<i>---</i>	<i>D (1,2)</i>
--------------	-----------------	----------	--------------	------------	------------	----------------

V horní třetině neutváří, tvoří spirálu cca do průměru 60, pak začne utvářet. Při upichování hvíždá. Břit je téměř bez poškození, není patrný žádný odštípek. Zkouška byla zastavena z časového důvodu, destička mohla pokračovat dál.



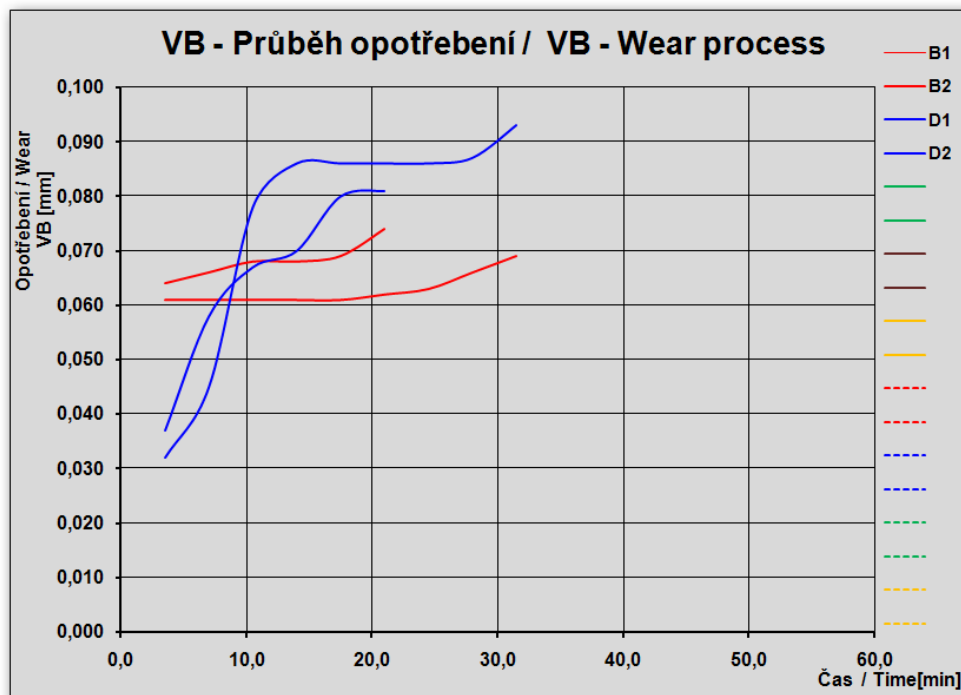
Obr. 47 Destička C1 po 31,5 minutě

Opotřebení se vyvíjelo následovně:

Výrobce	Destička	Utvařec	Jakost	Substrát	Povlak	Vzorek	Kritérium	Časové rozvržení [min]								
								1. čas	2. čas	3. čas	4. čas	5. čas	6. čas	7. čas	8. čas	9. čas
								3,5	7,0	10,5	14,0	17,5	21,0	24,5	28,0	31,5
Iscar	DGN 3102C		IC808			D1	VBb mm	0,032	0,045	0,078	0,086	0,086	0,086	0,086	0,087	0,093
							VBc mm									0,117
							-									
						D2	VB mm	0,037	0,058	0,067	0,070	0,080	0,081			
							VBc mm									
							-									

Tab. 16 Vývoj opotřebení destičky Iscar DGN 3102 C

### Průběh opotřebení



*Graf 13 Průběh opotřebení destiček při upichování s předvrtanou dírou*

Graf trvanlivosti neodpovídá skutečným hodnotám, z důvodu předčasně ukončené zkoušky. Mezi destičkami B1 a B2 tak i mezi D1 a D2 nebyl v průběhu opotřebení žádný větší rozdíl (statisticky si vedly velice podobně), tak jsme rozhodli, že od každého typu necháme pokračovat pouze jednu, abychom ušetřili čas i obráběný materiál.

## 7. Technicko-ekonomické zhodnocení

Ekonomické hledisko jsem si dovolil shrnout trochu jinak. V této práci jde především o výzkum/vývoj a získávání informací o upichování. Proto se nedá jednoduše spočítat úspora nebo provést ekonomické porovnání.

Nicméně mohu stručně provést kalkulaci, co firmu Pramet tento výzkum stál:

Hodinová sazba zkušebny: 1500 Kč/hod

Průměrná cena destiček: 350 Kč/ks

Náklady na materiál: 2500 Kč

Měření sil zabralo i s přípravou 2 pracovní dny (15 hodin). Na první zkoušku trvanlivosti byla potřeba zhruba 13 hodin a na druhou zkoušku trvanlivosti cca 18 hodin. Na všechny experimenty bylo použito dohromady 28 destiček.

To znamená, že tento výzkum vyšel přibližně na **66 300 Kč\***

Za tuto cenu jsme získali informace, jak používat upichovací destičky, školit techniky, obchodníky a podobně. Tyto informace mohou mít vysokou hodnotu. Z ekonomického hlediska lze doporučit používat břitové destičky bez fazetky pro upichování do plného materiálu. Naopak destičky s fazetkou jsou vhodné pro zápichy, upichování materiálu s předvrtanou dírou pro minimalizaci nárůstkové oblasti a pro operace s rázy (drážka na obvodu apod.).

*\*Celkové náklady  $n_c = 1500 * 36 + 350 * 28 + 2500 = 66300$  Kč*

## 8. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjistit chování vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů při upichování s možnou nepřesností ustanovení řezné hrany vůči ose obrobku. Po několika měření výšky řezné hrany vůči základně kostky (viz příloha 1) a přičtení úchytky samotného polohování stroje (revolverové hlavy) a nepřesnosti VDI-ček (držáky na upnutí kostek, nožů apod.) se dostaneme na hodnotu, která byla výchozí pro experiment měření sil v ose obrobku a následného porovnání se silami obrábění pod osou i nad osou obrobku (tab. 17).

Způsob - technologie obrábění	Nástroj		Software 2825A Dynoware				Smoothing: off	
	Výrobce	Označení Planžeta / VBD	$F_{x_{mean}}$ [N]	$F_{y_{mean}}$ [N]	$F_{z_{mean}}$ [N]	$F_c$ [N]	$F_{y_{max}}$ [N]	$F_{z_{max}}$ [N]
1 Špička -0,15 mm - nad středem obrobku Upichování kroužků bez předvrtané díry	Pramet	XLCN 3202 N 0316 / LCMR 031602-CM - II.; 520780	-29 N	385 N	755 N	848 N	837 N	1 527 N
			-26 N	378 N	745 N	836 N	705 N	1 353 N
3 Špička 0,00 mm - ve středu Upichování kroužků bez předvrtané díry	Pramet	XLCN 3202 N 0316 / LCMR 031602-CM - II.; 520780	-19 N	366 N	726 N	813 N	871 N	1 405 N
			-22 N	350 N	717 N	798 N	900 N	1 617 N
4 Špička +0,15 mm - nad středem obrobku Upichování kroužků bez předvrtané díry	Pramet	XLCN 3202 N 0316 / LCMR 031602-CM - II.; 520780	-33 N	388 N	743 N	839 N	836 N	1 752 N
			-29 N	385 N	734 N	829 N	949 N	1 268 N

Tab. 17 Řezné síly destičky LCMR 031602-CM - II v závislosti na pozici řezné hrany

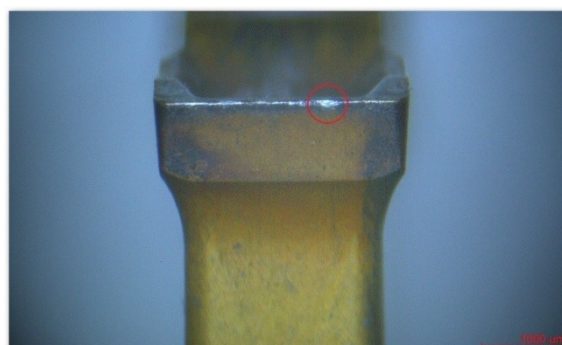
Výsledky z experimentu měření sil dokázaly, že taková nepřesnost při ustanovení řezné hrany vůči ose obrobku je, co se velikosti a změny průběhu sil týče, zanedbatelná (viz příloha 2). Z toho důvodu jsme po konzultaci s pracovníky Prametu rozhodli, že další experiment (vývoj opotřebení) se provede pouze v ose obrobku. Cílem druhého experimentu je zjistit jaký faktor má největší vliv na trvanlivost břitu. Proto jsem porovnával opotřebení a trvanlivost destiček firmy Pramet a Iscar. Od každé firmy jsem měl k dispozici více druhů destiček s různou geometrií, utvařečem třísky a rozdílným povrchovým zpracováním.

Experiment jsem rozdělil dvou částí. První část se zabývá průběhem opotřebení při upichování do plného materiálu, kde se nám blíže ke středu projeví nárůstková oblast vlivem malé řezné rychlosti. V druhé části experimentu se snažím zjistit, jak se vyvíjí opotřebení destiček při upichování mimo nárůstkovou oblast, to znamená, upichujeme materiál s předvrtanou dírou o průměru 20 mm.

Chování destiček a vývoj opotřebení je při operaci upichování velmi nepředvídatelné, což potvrdila první část druhého experimentu. První testovaná destička firmy Pramet LCMR 031602 s CM utvařečem vydržela téměř 13 minut. Po tomto čase bylo patrné vyštípnutí na řezné hraně (obr. 48) a porušen vedlejší břit. Druhá destička stejného typu vydržela poloviční čas, po páté minutě přestává utvářet a taktéž je odštípnutá na řezné hraně. Experimentální destička ve vývoji G362-AA-U02 s utvařečem UP14 od firmy Pramet vyšla z experimentu nejhůře. Špatně utváří, takže se tvoří dlouhá špona, která se namotává na stroj (tvoří chuchvalce). Na první testované se projevilo mechanické poškození břitu již po 6 minutě (obr. 49), druhá nevydržela ani polovinu času.

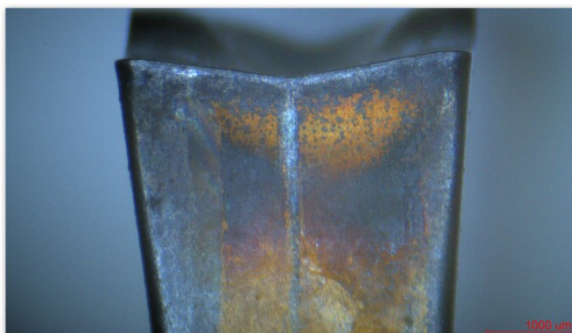


*Obr. 48 Destička LCMR 031602 - CM*



*Obr. 49 Destička G362-AA-U02 - UP14*

Konkurent firmy Iscar DGN 3102 s utvařečem J si vedl podstatně lépe. Obě z testovaných vydržely 13 minut a dále se v experimentu nepokračovalo. Po tomto čase bylo patrné pouze povrchové opotřebení břitu, po celou dobu dobře utvářely a měly tichý chod. Naopak stejná destička DGN 3102 akorát s utvařečem C, na tom byla podstatně hůře. Sice dobře utvářela, ale ani jedna destička nevydržela déle než 9 minut. Na první destičce je znatelné vyštípnutí špičky na řezné hraně vlivem nárůstu (obr. 51), druhá destička byla po 8 minutě zastavena, protože přestala utvářet.



*Obr. 50 Destička DGN 3102 - J*



*Obr. 51 Destička DGN 3102 - C*

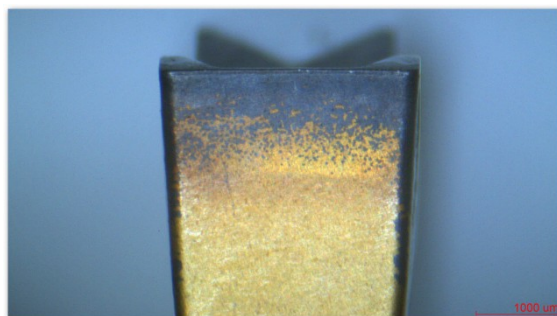


To co má destička Pramet G362-AA-U02-UP14 a DGN 3102-C společné, je přítomnost fazetky. Fazetka by měla zlepšovat vlastnosti destičky, ale v případě upichování až do středu materiálu, razantně sníží trvanlivost destičky. Je to dáno tím, že na destičku s fazetkou se daleko lépe nalepuje materiál (tvoří se nárůstek), který má za následek předčasné porušení břitu odlomením části nárůstku.

Druhá část experimentu, se zabývá upichováním do předvrtaného materiálu, abychom se vyhnuli nárůstkové oblasti. Pro tento experiment jsem použil pouze fazetkové destičky, abych zjistil, jak se chovají při upichování mimo nárůstkovou oblast. Destičky Pramet i Iscar na tom byly velice podobně. Ze začátku hůře utváří, ale po zaříznutí do materiálu tento problém zmizí. Experiment pro oba typy byl zastaven ve 31 minutě z důvodu časového i ekonomického. Opatření po této době vypadá následovně:



Obr. 52 Destička G362-AA-U02 - P14



Obr. 53 Destička DGN 3102 - C

Na destičce Pramet G362-AA-U02 je sice patrné drobné vyštípnutí na řezné hraně, v její funkčnosti ji to však neovlivnilo. Stále utvářela lépe jak destička od Iscar a měla tišší chod.

Dle provedených experimentů bylo zjištěno, že pro upichování do středu obrobku (materiál bez předvrtané díry) je vhodné použít řezné břitové destičky bez fazetky. V nárůstkové oblasti si vedou daleko lépe. Fazetkové destičky jsou naopak vhodné pro zápichy, kde dochází k rázům, dynamickému namáhání a pro upichování mimo nárůstkové oblasti.

Zajímavý poznatek je, že doba obrábění v nárůstkové oblasti byla velmi krátká - tvořila pouze **3,7%\*\*** z celkového času, ale na výslednou trvanlivost břitu měla až neočekávaně velký vliv.

**\*\*Celkový čas  $T = 164$  sec, Čas v nárůstkové oblasti  $T_n = 6$  sec (cca od průměru 10 mm) => 3,7%**



## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc za pomoc při tvorbě mé práce.

Dále musím poděkovat zaměstnancům firmy Dormer Pramet. Jmenovitě panu RNDr. Vladimírovi Stoykovi, Ph.D. za návrh zkušebních podmínek a diskuzí nad dosaženými výsledky, panu Bc. Janu Tomisovi za poskytnutí testovaných destiček a informace o nich a v neposlední řadě panu Jiřímu Danielovi za provádění všech pokusů na CNC soustruhu a diskuzi nad jednotlivými úkony.

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektu SP2016/172 Vliv technologických parametrů na obrobený povrch a SP2016/174 Studium procesu obrábění progresivních materiálů s cílem zvýšit a podpořit vědecko-výzkumné aktivity studentů doktorských a magisterských studijních programů ve spolupráci s akademickými pracovníky.

## Použitá literatura

- [1] HOUDEK, J.: Teorie obrábění - Odborník. Šumperk: Pramet Tools s.r.o., 6.3.2007, 80s.
- [2] HOUDEK, J.: Teorie obrábění - Odborník. Šumperk: Pramet Tools s.r.o., 2006, 115s.
- [3] HOUDEK, J.: Teorie obrábění - Pokročilý. Šumperk: Pramet Tools s.r.o., 2008, 95s.
- [4] MRKVICA, M. Přípravky a obráběcí nástroje: I. díl, Řezné nástroje. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2006. ISBN 80-7078-941-7.
- [5] HUMÁR, A. Technologie I, Technologie obrábění – 1. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia [online]. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, Copyright © 2013 UST [vid. 2016-02-14]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>.
- [6] HUMÁR, A.; PÍŠKA, M. Moderní řezné nástroje a nástrojové materiály. MM Průmyslové spektrum, Speciální vydání, 2004, 110 s. ISSN 1212-2572.
- [7] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2012, 225. ISBN 80-214-2374-9
- [8] ŠVIHÁLEK, J. Analýza současných technologií upichování a zapichování. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 30 s., 3 přílohy. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
- [9] VESELOVSKÝ, J. *Testování VBD pro extrémní řezné rychlosti: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 36 s. Vedoucí práce: Vrba, V.
- [10] Profil společnosti. *dormerpramet*. [online]. 2016 [vid. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.dormerpramet.com/cs-cz/company/who-we-are>
- [11] ferro-steel. *czferrosteel*. [online]. 2016 [vid. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11109.pdf>
- [12] ferro-steel. *czferrosteel*. [online]. 2016 [vid. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-12050.pdf>

## **Seznam příloh**

**Příloha č. 1** - Výška řezné hrany

**Příloha č. 2** - Měření řezných sil

**Příloha č. 3** - Protokol zkušebny o obrábění 1486

**Příloha č. 4** - Protokol zkušebny o obrábění 1488

**Příloha č. 5** - Grafy sil destičky LCMR 031602-CM - II.; 520760

**Příloha č. 6** - Grafy sil destičky G362-AA-U02-UP14; P523087